

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

Cláudia Gaspar Duarte

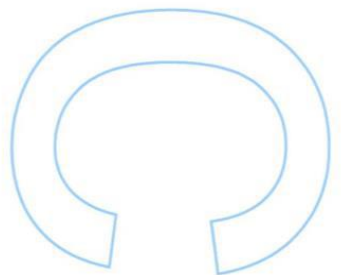
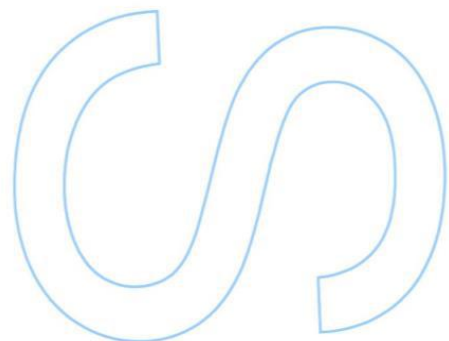
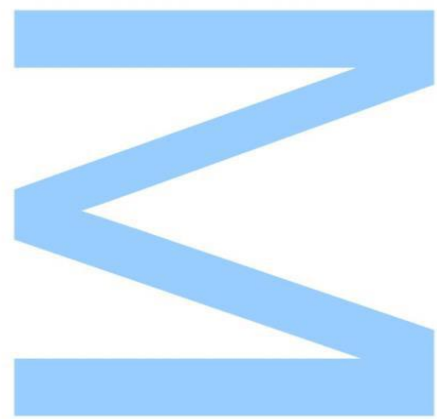
Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2015

Orientador

Doutor Jorge Manuel Espinha Marques, Professor auxiliar,
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

Doutora Catarina Rodrigues Mansilha, Instituto Nacional Ricardo Jorge,
Laboratório de Química e Toxicologia, Unidade de Água e Solo

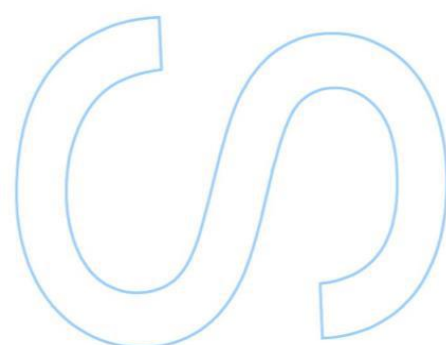
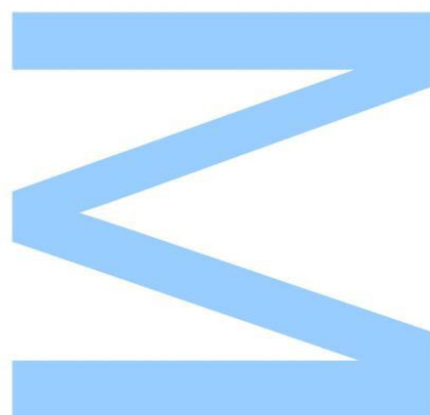




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



AGRADECIMENTOS

No fim deste trabalho existem várias pessoas a quem não podia deixar de agradecer:

Ao Professor Doutor Jorge Manuel Espinha Marques, orientador, pela disponibilidade de orientar este trabalho, pelo acompanhamento, pelas sugestões e críticas.

À Professora Doutora Catarina Rodrigues Mansilha, coorientadora, do Departamento de Saúde Ambiental – Unidade de Água e Solo, do Laboratório de Química e Toxicologia do Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, no Porto, pela análise das amostras, pelas sugestões e pela ajuda na análise dos resultados.

Ao senhor Manuel Rodrigues, pela cedência da sua propriedade para recolha de amostras de água.

A todos os colegas que contribuíram para a realização deste trabalho.

À minha família e amigos pelo apoio e motivação durante estes anos de estudos.

RESUMO

Os fogos florestais são a principal ameaça às florestas do Mediterrâneo. Nos últimos anos é possível observar um aumento de fogos florestais em Portugal e um aumento de área ardida, cujos impactes se fazem sentir em todo o ecossistema. A destruição do coberto vegetal e a alteração das propriedades do solo conduzem a modificações no regime hidrológico, tanto a nível quantitativo, com a mudança na contribuição de cada componente do ciclo hidrológico, como a nível qualitativo, com a mobilização de substâncias que são encaminhadas para as massas de água principalmente por escoamento superficial.

Neste estudo é avaliado o efeito dos fogos florestais sobre a presença de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) na água subterrânea na Serra do Caramulo.

Foram encontrados 14 dos 16 HAPs prioritários, com uma predominância dos HAPs mais leves, de 2 a 4 anéis benzénicos em relação aos HAPs mais pesados, com 5 a 6 anéis benzénicos. O comportamento dos HAPs totais segue o perfil de precipitação durante o estudo, comprovando a influência da precipitação na entrada destes poluentes nas águas subterrâneas.

Adicionalmente foi avaliado o comportamento de elementos iónicos maioritários observando-se um comportamento semelhante nos quatro catiões analisados, e um comportamento distinto nos aniões. No final do estudo todos os parâmetros apresentaram uma diminuição das suas concentrações, associada a eventos de precipitação e à redução da sua disponibilidade nas zonas ardidas.

Palavras-chave: fogos florestais, ciclo hidrológico, água subterrânea, HAPs, iões maiores

ABSTRACT

Forest fires are a major threat to the forests of the Mediterranean. In recent years it's been evidenced an increase in forest fires in Portugal and an increase in burnt area, whose impacts are felt throughout the ecosystem. The destruction of vegetation cover and alteration of soil properties lead to changes in the hydrological regime, both quantitative, with the change in the contribution of each component of the hydrological cycle, and qualitative, with the mobilization of substances that are forwarded to water bodies mainly by runoff.

This study evaluates the effect of forest fires on the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in groundwater in the Caramulo mountains.

14 of the 16 priority PAHs were found, with a predominance of lighter PAH (2 to 4 benzene rings) over the heavier PAHs (5 to 6 benzene rings). The behavior of total PAHs follows the precipitation profile during the study, proving the influence of precipitation on the input of these pollutants into groundwater.

In addition, the behavior of major ionic elements was evaluated, observing similar behavior in the four analyzed cations and a distinct behavior in anions. At the end of the study all parameters showed a decrease in their concentrations associated with precipitation events and a reduction of their availability in the burnt areas.

Keywords: forest fires, hydrologic cycle, groundwater, PAHs, major ions

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. IMPORTÂNCIA AMBIENTAL DOS FOGOS FLORESTAIS	1
1.2. IMPACTE HIDROLÓGICO DOS FOGOS FLORESTAIS	3
1.2.1. PERTURBAÇÕES DO CICLO HIDROLÓGICO EM ÁREAS FLORESTAIS ..	3
1.2.2. ALTERAÇÕES QUÍMICAS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	6
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	10
2.1. HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs)	10
2.1.1. ORIGEM.....	10
2.1.2. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	11
2.1.3. DISTRIBUIÇÃO NO AMBIENTE E DEGRADAÇÃO	14
2.1.4. HAPs E CARCINOGÉNESE.....	15
2.1.5. LEGISLAÇÃO APLICADA.....	16
2.2. FOGOS FLORESTAIS EM PORTUGAL	17
2.3. OBJECTIVOS	21
3. CARATERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
3.1. SERRA DO CARAMULO	22
3.1.1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	23
3.1.2. HIDROLOGIA.....	24
3.1.3. CLIMA	25
3.1.4. VEGETAÇÃO E OCUPAÇÃO DO SOLO	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1. PARÂMETROS FÍSICOS	33
5.2. HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs)	36
5.3. PARÂMETROS HIDROGEOQUÍMICOS	38
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
BIBLIOGRAFIA.....	44
ANEXO I - INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO	50
ANEXO II - VALORES DE TODOS OS PARÂMETROS EM CADA AMOSTRAGEM..	59
ANEXO III - VALORES INDIVIDUAIS DE HAPs	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação do ciclo hidrológico
(<http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>)

Figura 2: Representação do escoamento de precipitação numa vertente até um curso de água (Moreira, 2010)

Figura 3: Resposta do escoamento direto em bacias florestais queimadas e não queimadas (Ferreira *et al.*, 2009)

Figura 4: Fogos florestais e área ardida em Portugal Continental entre 1980 a 2013.
(<http://www.pordata.pt/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Gr%C3%A1fico>)

Figura 5: Distribuição da área ardida dos três grandes fogos florestais ocorridos na Serra do Caramulo em 2013 (Viegas *et al.* 2013)

Figura 6: Aspeto da zona envolvente de uma aldeia da Serra do Caramulo um ano após o fogo florestal de 2013

Figura 7: Vertente norte do Caramulinho, com 1074 metros

Figura 8: Unidades geológicas da região da Serra do Caramulo (Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000)

Figura 9: Temperatura e precipitação média anual de Portugal continental correspondentes ao período de 1971-2000 (Silva 2010)

Figura 10: Localização geográfica dos pontos amostrados

Figura 11: Frascos utilizados no armazenamento de água para análise

Figura 12: Calibração do medidor e medição dos parâmetros físico-químicos da água

Figura 13: Cromatógrafo gasoso com espectrómetro de massa acoplado, marca Shimadzu, modelo QP2010 (<http://www.shimadzu.com/an/gcms/qp2010se.html>)

Figura 14: Variação temporal da temperatura medida nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

Figura 15: Variação temporal do pH medida nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

Figura 16: Variação temporal da condutividade elétrica medida nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

Figura 17: Variação temporal das concentrações de HAPs nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

Figura 18: Variação temporal das concentrações de sódio nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015 (em cima); pormenor da variação das concentrações mais baixas de sódio nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015 (em baixo)

Figura 19: Variação temporal das concentrações de cálcio nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

Figura 20: Variação temporal das concentrações de potássio nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

Figura 21: Variação temporal das concentrações de magnésio nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

Figura 22: Variação temporal das concentrações de cloretos nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

Figura 23: Variação temporal das concentrações de sulfatos nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Algumas propriedades físico-químicas dos 16 HAPs prioritários (ATSDR 1995^a, Ferreira et al. 2009^b)

Tabela 2: Classificação carcinogénica dos 16 HAPs pela *International Agency for Research on Cancer*

Tabela 3: Número de fogos florestais e área ardida, por distrito, entre 1 de janeiro e 31 de dezembro de 2013 (ICNF, 2014)

Tabela 4: Distribuição por concelho da área ardida na Serra do Caramulo em 2013 (ICNF 2014)

Tabela 5: Modelo de ficha e inventário hidrogeológico adotada

Tabela 6: Valores médios dos parâmetros estudados em cada ponto de amostragem

ABREVIATURAS

Ace - acenafteno

Aci - acenaftileno

Ant - Antraceno

ATSDR - *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*

BaA - benzo(a)antraceno

BaP - benzo(a)pireno

BbF - benzo(b)fluoranteno

BghiP - benzo(g,h,i)perileno

BkF - benzo(k)fluoranteno

Cri - criseno

DahA - dibenzo(a,h)antraceno

Fen - fenantreno

Fl - fluoreno

Ft - fluoranteno

HAPs - Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

IARC - *International Agency for Research on Cancer*

Ind - indeno(1,2,3-cd)pireno

Naf - naftaleno

NQA - Normas de qualidade ambiental

Pir - pireno

1. INTRODUÇÃO

1.1. IMPORTÂNCIA AMBIENTAL DOS FOGOS FLORESTAIS

As florestas são um elemento vital no equilíbrio ecológico, biodiversidade, recursos hídricos, pureza do ar e na economia. No entanto estas são confrontadas com várias ameaças, sendo a mais significativa os fogos florestais. As suas principais causas são os relâmpagos, vulcões e a ação humana, sendo esta última considerada a atividade predominante na bacia do Mediterrâneo (Ferreira *et al.* 2009).

Em condições controladas, os fogos de baixa intensidade têm sido aplicados como medida de gestão em vários ecossistemas, por exemplo para combate de vegetação indesejável. Estes são aplicados de modo a aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas ou alterar as características abióticas e bióticas de bacias hidrográficas, gerando habitats complexos e produtivos (Silva 2012). Estes fogos são controlados à superfície do solo, durante um tempo específico e em pequena escala, e se forem devidamente extintos sem que a camada orgânica do solo seja totalmente consumida os seus impactos são mínimos (Capela 2008).

Enquanto os fogos de menor escala podem fazer parte da dinâmica e da gestão de recursos naturais, os fogos florestais extensos aumentaram significativamente durante as últimas décadas (Olivella *et al.* 2006). Todos os anos milhões de hectares de floresta são destruídos em todo o mundo, consumindo várias centenas de milhões de toneladas de biomassa seca (Bakirci 2010). O fogo é, assim, um agente modificador potente do meio ambiente, que em grandes escalas é assumido como uma força destrutiva, causando impactos rápidos e dramáticos na estrutura e funcionamento dos ecossistemas (Silva 2012).

Os impactos ambientais associados ao fogo dependem de vários fatores ligados às suas características, tais como a intensidade, a época do ano em que ocorreu, duração, a sua frequência na região, volume disponível de combustível, concentração e distribuição, que por sua vez dependem da composição e dimensão dos povoamentos florestais (Lourenço 1990).

A fim de entender a extensão das alterações causadas pelos fogos florestais é importante analisar a resposta dos diferentes compartimentos ambientais que podem ser afetados, tais como a composição e estrutura da vegetação, fauna, qualidade do ar, solos e água.

Os fogos florestais consomem parcial ou totalmente a vegetação do local dependendo da intensidade do fogo, da sua duração, época do ano, das características da vegetação e das características do local. A longo prazo, os efeitos sobre a vegetação podem afetar a disponibilidade de alimento e o habitat das espécies presentes. A mortalidade ou ferimentos, a fuga às chamas ou movimentações de maior amplitude são outros efeitos sobre as espécies (Moreira *et al.* 2010).

O fumo libertado pela queima da biomassa contém diversos produtos, tais como compostos gasosos e partículas. Tipicamente, os poluentes resultantes são: matéria particulada, CO₂, CO, CH₄, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), dioxinas, furanos, óxidos de azoto (NO_x) e amoníaco (NH₃) (Martins 2007). Os seus efeitos variam de acordo com o tipo de poluente e com as quantidades emitidas, afetando a química da atmosfera, a visibilidade, a saúde humana e o clima, causando a deposição de cinzas nos solos e cursos de água, perda de nutrientes do solo e contaminação de aquíferos (Pereira *et al.* 2006).

Os efeitos diretos do fogo nos solos são essencialmente derivados da mineralização da matéria orgânica presente no solo, ficando mais disponível para ser transportada pelos processos erosivos e hidrológicos. A alteração dos processos físico-químicos do solo pode também conduzir à formação de uma camada hidrofóbica à sua superfície, impedindo a infiltração da água.

O desaparecimento do coberto vegetal leva a uma maior susceptibilidade do solo a alterações no regime hidrológico, traduzindo-se por um aumento do escoamento superficial, nomeadamente o escoamento direto, e aumento dos picos e volumes de cheia, assim como alterações no terreno devido aos fenómenos erosivos que são acompanhados pelo transporte de material sedimentar para as linhas de água (Moreira *et al.* 2010, Shakesby e Doerr 2006).

A nível de recursos hídricos, para além das alterações no regime hidrológico causadas pelas mudanças no solo, a deposição de cinzas e o transporte de sedimentos pelo escoamento superficial conduzem a alterações nas propriedades físico-químicas da água, aumentando a sua temperatura, alterando a concentração de nutrientes e introduzindo elementos poluentes (Ferreira *et al.* 2009).

1.2. IMPACTE HIDROLÓGICO DOS FOGOS FLORESTAIS

1.2.1. PERTURBAÇÕES DO CICLO HIDROLÓGICO EM ÁREAS FLORESTAIS

O ciclo hidrológico (figura 1) é considerado como a circulação contínua de água entre o oceano, a atmosfera e a terra alternando entre as fases líquida, gasosa e sólida (Ferreira *et al.* 2009).

O vapor resultante da evaporação da água dos oceanos é transportado e condensado, formando as nuvens. A partir destas ocorre a precipitação na forma de chuva, orvalho, neve, geada ou granizo, dependendo da temperatura (Pike 2003).

Grande parte da água precipitada pode ficar retida temporariamente no solo e outra parte é novamente encaminhada para a atmosfera, tanto pela evaporação como pela evapotranspiração das plantas. A água que não é evaporada ou assimilada pelas plantas escoar pela superfície do solo até aos cursos de água, ou por correntes subsuperficiais após a sua infiltração, constituindo a recarga e descarga de aquíferos e o escoamento de base dos cursos de água (Roberts 2009).

Influenciados pela gravidade, o escoamento direto e de base movem-se para zonas mais baixas, acabando por descarregar para o oceano, no qual a água evapora novamente, fechando assim o ciclo (Ferreira *et al.*, 2009).



Figura 1: Representação do ciclo hidrológico (<http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>)

A ocorrência de um fogo florestal provoca alterações significativas em vários componentes do ciclo hidrológico, nomeadamente a interceção pela vegetação, a evapotranspiração para a atmosfera e a capacidade de infiltração dos solos.

A interceção é o primeiro processo que afeta a quantidade de precipitação disponível para os cursos de água (Pike 2003), e é provocada pelas copas das árvores e pela manta morta vegetal, de modo a proteger a superfície do solo do impacto das gotas de chuva. Muita desta precipitação retorna à atmosfera por evaporação e outra parte escorre pelos troncos e caules até à superfície do solo (Neary *et al.* 2005).

A evapotranspiração consiste na transpiração das plantas e na perda de água para a atmosfera pela evaporação de água da superfície do solo, da superfície das plantas, dos cursos de água e durante a própria precipitação (Pike 2003).

Devido a estes processos, apenas uma fração da precipitação atinge a superfície do solo e infiltra-se. Parte dessa água é utilizada pela vegetação e a restante contribui para a recarga dos solos (Roberts 2009), deslocando-se lentamente para baixo e lateralmente podendo atingir um aquífero. Se a quantidade de água precipitada exceder a capacidade de infiltração do solo, esta desloca-se por escoamento superficial até atingir um curso de água.

Estes componentes do ciclo hidrológico estão intimamente relacionados pelo que é difícil isolar os impactos do fogo num só componente (Neary *et al.* 2005).

Quando o fogo consome a vegetação e a manta morta subjacente (figura 2), a interceção é reduzida ou deixa de existir, aumentando a exposição do solo ao impacto da chuva, que pode fechar os poros à superfície, reduzindo a capacidade de infiltração da água.

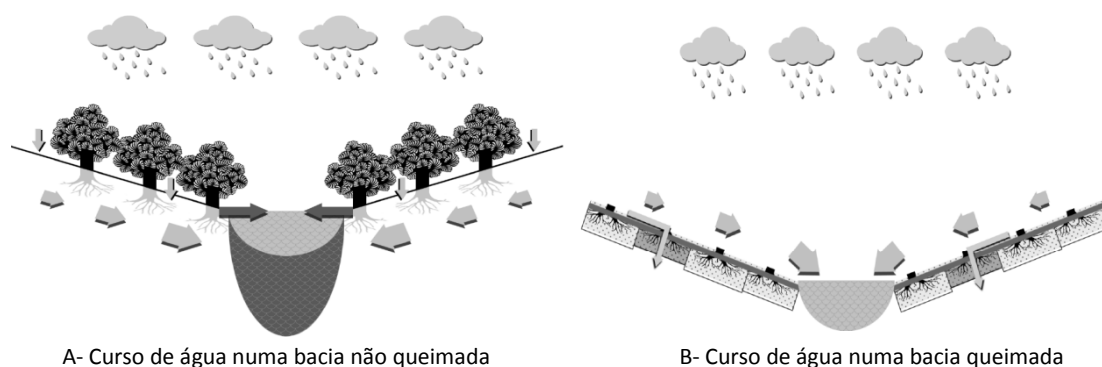


Figura 2: Representação do escoamento de precipitação numa vertente até um curso de água (Moreira *et al.* 2010)

A falta de vegetação contribui também para a redução da evapotranspiração, ficando esta apenas dependente da evaporação a partir das massas de água e do solo (Ice *et al.* 2004).

Todas estas alterações vão resultar no aumento do escoamento superficial e dos picos de cheia, bem como na aceleração da erosão do solo (Batalla 2001). Quanto mais chover maior a área saturada e maior o pico de cheia, podendo existir casos de picos de cheias muito superiores ao que é normal em zonas recentemente queimadas (Moreira *et al.* 2010).

A resposta de uma área queimada à precipitação vai evoluir ao longo de um certo período de tempo. A figura 3 representa a distribuição temporal da resposta do escoamento superficial à precipitação numa zona de pinhal ardido (Lourizela), e outra não ardida (Bouça), localizadas no centro de Portugal, no período de um ano após o fogo.

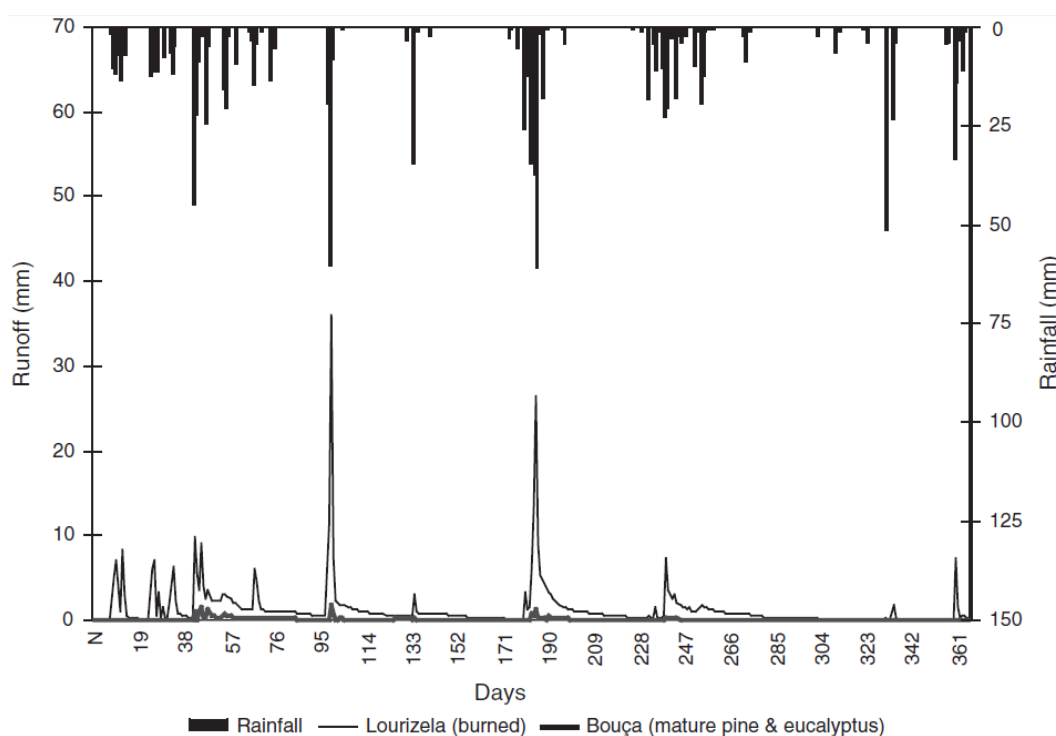


Figura 3: Resposta do escoamento superficial em bacias florestais queimadas e não queimadas (Ferreira *et al.*, 2009)

A partir da análise destes dados pode-se constatar que há uma rápida resposta inicial à queda de precipitação na zona queimada. As respostas mais significativas ocorrem quando a precipitação excede os 50 mm, e ao final de um ano nota-se um decréscimo nos picos de cheia.

Por outro lado a zona não queimada apresenta pequenos picos de cheia que coincidem em resposta aos valores mais elevados de precipitação.

1.2.2. ALTERAÇÕES QUÍMICAS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

As alterações a nível dos recursos hídricos dependem de vários fatores, tais como as características da bacia hidrográfica (clima, relevo, tipo e ocupação do solo, geologia e percentagem de vegetação ardida), as características do fogo (frequência, intensidade, duração e extensão de solo afetado) (Ferreira *et al*, 2009), bem como as condições do curso de água antes da ocorrência do fogo (Neary *et al*, 2005).

Segundo Ranalli (2004), o efeito dos fogos florestais sobre a qualidade da água é mais acentuado nas seguintes condições:

- Fogo com elevada severidade, queimando grandes quantidades de matéria orgânica;
- Ventos fortes durante o fogo;
- Elevada precipitação após o fogo;
- Bacia hidrográfica com relevo acentuado;
- Solos com baixa capacidade de troca catiónica.

Sendo assim, quanto mais severo for um fogo, maior a quantidade de combustível consumido, maior a quantidade de nutrientes libertados, maior a suscetibilidade dos solos à erosão e maior o fluxo de nutrientes que podem afetar a qualidade da água (Neary *et al*. 2005). A duração dos efeitos do fogo varia desde períodos curtos a várias décadas dependendo da intensidade do próprio fogo e a taxa de recuperação da vegetação (Baker 1990).

As alterações na qualidade da água são mais visíveis após o primeiro evento de precipitação capaz de gerar escorrência superficial em vertentes ardidas, do qual resulta o transporte de elementos químicos até aos cursos de água (Meneses 2013).

O aumento do escoamento superficial na sequência de um fogo florestal aumenta a carga de substâncias dissolvidas e em suspensão na água. A turbidez é um impacto a curto prazo da elevada carga de sedimentos suspensos. A longo prazo pode ocorrer difusão de metais e de produtos químicos presentes nos sedimentos e nas cinzas (Gill 2004, Neary *et al*. 2005).

O pH é uma indicação do balanço químico de um corpo de água. Após a ocorrência de um fogo este pode ser afetado pela deposição de cinzas devido à presença de cálcio, potássio, sódio e magnésio (Capela 2008). Durante o primeiro ano após o fogo, o pH do solo aumenta, podendo contribuir também para o aumento deste na água (Neary *et al*, 2005).

A condutividade elétrica define a capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica e está diretamente relacionada com o teor de sais dissolvidos, ou seja, quanto mais mineralizada é a água maior é a condutividade elétrica (Meneses 2013).

Os constituintes químicos mais importantes no estudo de águas subterrâneas após a ocorrência de um fogo florestal são os cátions cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), sódio (Na^+), e os aniões cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}). No geral, há uma tendência para o aumento do teor destes constituintes nos solos, sedimentos e nas águas de escorrência devido à sua presença nas cinzas e solo queimado. Por sua vez atingem as águas superficiais e subterrâneas através do escoamento superficial (Bitner *et al.* 2001).

Vários estudos têm sido realizados sobre o comportamento destes compostos nos solos e nas águas após a ocorrência de um fogo florestal, sendo na maioria dos casos detetados grandes aumentos de concentração.

Thomas *et al.* (2000) estudaram a perda dos cátions Ca, Mg e K de solos por escoamento superficial em florestas ardidas de pinheiro e eucalipto e uma zona não ardida durante 19 meses, 2 a 3 anos após a ocorrência dos fogos na bacia do rio Águeda. A partir de amostras efetuadas nas zonas ardidas após eventos de precipitação, foi detetado um aumento inicial das concentrações destes cátions no escoamento superficial, que foram diminuindo gradualmente nas amostragens seguintes. Estes concluíram que houve uma perda gradual de solutos nos solos e que nas amostras em geral, as concentrações de Ca foram superiores, seguido do Mg e do K.

Lewis (1974) in Ranalli (2004), recolheu amostras de precipitação, escoamento superficial e de água subterrânea em quatro locais de uma área ardida, bem como em outros quatro locais de uma área não ardida, adjacente à albufeira de Par, Carolina do Sul.

Este constatou que a concentração de cátions na precipitação era duas vezes maior na zona queimada comparativamente à zona não queimada. Este aumento foi atribuído à convecção de cinzas.

As amostras de lixiviados da camada orgânica do solo mostraram que o fogo aumentou a solubilidade dos cátions Ca em 20 vezes, Mg em 10 vezes, Na em 2,3 vezes e K em 2,2 vezes, comparativamente ao controlo. Aproximadamente 70% da quantidade total de cátions foi removida em 30 dias por 80 mm de precipitação.

Tiedemann *et al.* (1978) in Almeida (2011) estudaram a evolução das concentrações de Ca, K, Mg e Na em águas superficiais na sequência de um fogo em

Washington. Estes concluíram que as concentrações de Ca, K, Mg e Na aumentaram imediatamente após o fogo e durante o primeiro ano. No entanto declinaram dois anos depois devido à diluição causada pelo aumento dos caudais.

Meneses (2013) estudou as alterações nas concentrações de Ca, Mg, K e Na na Ribeira de São Domingos, concelho da Lourinhã após a ocorrência de um fogo no planalto de Cezaredas em 2012. Este concluiu haver um aumento das concentrações destes elementos nas águas após os primeiros eventos de precipitação, devido à sua disponibilidade em zonas ardidas e ao seu transporte pelo escoamento superficial.

Ao longo das amostragens seguintes houve uma redução da disponibilidade destes elementos, e ainda a diluição destes devido à ocorrência de eventos de precipitação nas últimas amostragens.

Do conjunto de nutrientes analisados verificou que o Ca apresentou maiores concentrações devido à sua disponibilidade natural.

Ferreira *et al.* (2005) estudaram as implicações hidrológicas dos fogos florestais e a consequente exportação de nutrientes sob a forma de solutos, em duas sub - bacias hidrográficas da bacia hidrográfica do rio Águeda. A bacia hidrográfica da Lourizela sofreu um grande fogo florestal em agosto de 1991, ardendo na sua totalidade. A bacia de Bouça foi utilizada como controlo, por não haver memória de fogos florestais nos últimos 50 anos.

O estudo foi efetuado em três escalas espaciais: bacia hidrográfica, talhão de ensaio (8 m x 2 m) e micro-talhão de ensaio (0.24 m²). Foram medidos os níveis de água após eventos de precipitação e foram recolhidas amostras de água num período de 14 meses. Verificou-se que o escoamento superficial na área ardida foi muito superior à bacia de controlo, bem como os picos de escoamento.

Os resultados obtidos a nível de nutrientes mostram que o SO₄, Cl, Ca, Mg e K sofreram uma rápida exportação pelas chuvas durante os primeiros quatro meses de estudo, cujos valores de concentração nas águas recolhidas decresceu gradualmente em função da diminuição da quantidade de cinzas na superfície do solo. Após este períodos apenas se detetaram perdas de nutrientes na ocorrência de precipitação extrema.

Além destes elementos, os fogos florestais libertam poluentes adicionais tais como os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), de grande preocupação, cujo comportamento tem vindo a ser igualmente estudado.

Olivella et al. (2006) estudaram a presença de HAPs nas águas superficiais, cinzas e sedimentos após um fogo florestal ocorrido na Catalunha em julho de 1994. Estes relataram um aumento nas concentrações de 12 HAPs nos cursos de água

associado à deposição atmosférica de cinzas (na ausência de precipitação) um mês após os incêndios florestais, entre 2 ng/L e 336 ng/L, dominando os hidrocarbonetos de três e quatro anéis. Com as chuvas fortes subsequentes em setembro, as concentrações de HAPs diminuíram significativamente de 0,2 ng/L a 3,1 ng/L devido à diluição, bem como pela sua degradação por foto-oxidação e a sua adsorção em partículas depositadas, dominando os hidrocarbonetos de três anéis. Na terceira amostragem, em janeiro, as concentrações voltaram a subir entre 9 ng/L e 73 ng/L, estando em maioria os hidrocarbonetos com mais de quatro anéis. Apesar dos valores elevados obtidos na primeira amostragem, os valores não ultrapassaram os limites impostos pela legislação europeia.

Vila-Escalé *et al.* (2007) estudaram as concentrações de 16 HAPs na água do ribeiro de Gallifa, Catalunha, numa zona afetada por um fogo florestal ocorrido em agosto de 2003. Estes observaram um aumento dos valores das concentrações de HAPs, superiores aos normalmente observados, associados ao aumento do escoamento superficial e à erosão do solo.

Nas amostragens seguintes houve um decréscimo gradual, embora com aumentos esporádicos no seguimento de eventos de precipitação. Após 15 meses os valores da concentração eram ainda superiores aos valores observados antes do fogo.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs)

2.1.1. ORIGEM

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) são compostos orgânicos hidrofóbicos e persistentes, de especial preocupação por serem compostos carcinogénicos e mutagénicos. Estes são frequentemente encontrados no meio ambiente, formados por carbono e hidrogénio, apresentando na sua estrutura química pelo menos dois anéis aromáticos, dispostos de forma linear, angular ou agrupada e encontram-se presentes virtualmente em toda a parte: água, ar, solo, e tecidos biológicos (Ferreira *et al.* 2009, Vela *et al.* 2012).

Estes compostos são produzidos por processos naturais e antropogénicos, sendo as fontes antropogénicas as que mais contribuem para a sua presença no ambiente (Pies *et al.* 2007).

As causas naturais incluem a combustão de biomassa e erupções vulcânicas (ATSDR 1995). As causas antropogénicas podem ser de dois tipos: petrogénicas e pirogénicas. Das fontes petrogénicas destacam-se os derrames de petróleo bruto e refinado, introduzidos no ambiente através de desastres de petroleiros, derrames, poluição de zonas industriais e refinarias (Manzetti 2013) e o escoamento superficial em áreas urbanas. Por outro lado, as fontes pirogénicas surgem da combustão incompleta de combustíveis fósseis e biomassa a altas temperaturas, sendo libertadas para o meio ambiente na forma de resíduos sólidos e de escape (Vela *et al.* 2012).

Existem centenas de HAPs diferentes, mas estes geralmente ocorrem como misturas complexas, por exemplo como parte dos produtos de combustão (fuligem), e não como compostos isolados (ATSDR 1995).

2.1.2. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

A presença, distribuição e mobilidade dos HAPs no ambiente depende de várias propriedades físico-químicas:

- Solubilidade - os HAPs são no geral pouco solúveis em água, sendo que a sua solubilidade diminui com o aumento do número de anéis aromáticos, bem como com aumento da massa molar (Skupinska *et al.* 2004). Estes são também pouco móveis no solo devido à sua facilidade de adsorção em matéria particulada. A solubilidade pode variar entre 30 mg/L para compostos ligeiros e 10^{-4} mg/L para os compostos mais pesados (Rollin *et al.* 2005).
- Densidade - a densidade controla o comportamento do poluente na zona saturada. Se o contaminante é imiscível, como no caso dos hidrocarbonetos, a contaminação acumula-se à superfície do nível freático se a sua densidade for inferior a 1 g/cm^3 , e abaixo deste se for superior a 1 g/cm^3 (Ferreira *et al.* 2009).
- Pressão de vapor - a pressão de vapor define o ponto em que o composto em estado sólido passa a vapor ou condensa novamente ao estado sólido. Quanto maior a pressão de vapor mais volátil é o composto (Wick *et al.* 2011). No caso dos HAPs a pressão de vapor diminui com o aumento da massa molar (Rollin *et al.* 2005).
- Coeficiente de partição octanol/água (K_{ow}) - traduz a concentração de equilíbrio de um soluto entre a fase lipofílica (octan-1-ol) e a fase hidrófila (água), e permite também conhecer a biodisponibilidade dos HAPs, o seu potencial de bioacumulação e com isso estimar a migração dos HAPs através dos lípidos.
Os valores de $\log K_{ow}$ dos HAPs mais comuns estão compreendidos entre 3 e 7 (Lemière *et al.* 2001), o que se traduz por um forte potencial de adsorção a partículas minerais e também à matéria orgânica do solo (Ferreira *et al.* 2009).

- Coeficiente de partição carbono orgânico/água (K_{oc}) - define a distribuição de um composto entre a fase sólida e líquida de um solo. Neste caso, indica a tendência dos HAPs de se ligarem à matéria orgânica do solo (Rollin *et al.* 2005). Quanto maior o coeficiente, maior é a tendência para se fixar.
- Volatilidade - a volatilidade de um composto é definida pela sua constante de tensão de vapor a 20°C e está relacionada com o ponto de ebulição, ou seja, quanto menor for a tensão de vapor, mais elevado vai ser o ponto de ebulição.
Os HAPs são considerados semivoláteis, com pontos de ebulição entre os 200°C e os 500°C (Lemière *et al.* 2001).
A volatilidade vai condicionar o modo como o contaminante se infiltra no solo e como se liberta por evaporação para a atmosfera.

















Relativamente às suas propriedades químicas, os HAPs podem ser classificados em três grupos de acordo com o número de anéis aromáticos e das suas massas molares:

- HAPs de pequenas massas molares (152-178 g/mol, 2 a 3 anéis): Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Antraceno e Fenantreno;
- HAPs de massas molares intermédias (202 g/mol, 4 anéis): Fluoranteno e Pireno;
- HAPs de massas molares elevadas (228 a 278 g/mol, 4 a 6 anéis): Benzo(a)antraceno, Criseno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Dibenzo(a,h)antraceno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(ghi)perileno, Indeno(1,2,3-cd)pireno (Rollin *et al.* 2005).

Algumas das propriedades referidas para cada HAP são apresentadas na tabela 1:

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

Tabela 1: Algumas propriedades físico-químicas dos 16 HAPs prioritários (ATSDR 1995^a, Ferreira et al. 2009^b)

Substância química	Abreviatura	Fórmula química	Estrutura química	Massa molar (g/mol) ^a	Ponto de fusão (°C) ^a	Ponto de ebulição (°C) ^a	Solubilidade (mg/L) ^a	Densidade (g/cm ³) ^a	Pressão de vapor (Pa) ^b	Log k _{ow} ^a	Log k _{oc} ^a
Acenafteno	Ace	C ₁₂ H ₁₀		154,21	95	96,2	3,42	1,024	36,8	3,98	3,66
Acenaftileno	Aci	C ₁₂ H ₈		152,20	92-93	265-275	3,93	1,194	4,14	4,07	1,40
Antraceno	Ant	C ₁₄ H ₁₀		178,23	218	340-342	0,07	1,240	1,52	4,45	4,15
Benzo(a)antraceno	BaA	C ₁₈ H ₁₂		228,29	158-159	400-435	0,0057	1,174	0,715	5,61	5,30
Benzo(a)pireno	BaP	C ₂₀ H ₁₂		252,32	179-179,3	495	0,0038	1,282	0,0778	6,06	6,74
Benzo(b)fluoranteno	BbF	C ₂₀ H ₁₂		252,32	168,3	-	0,001	-	0,113	6,04	5,74
Benzo(g,h,i)perileno	BghiP	C ₂₂ H ₁₂		276,34	273	550	0,00026	-	8,72x10 ⁻³	6,50	6,20
Benzo(k)fluoranteno	BkF	C ₂₀ H ₁₂		252,32	215,7	480	0,0008	-	0,0119	6,06	5,74
Criseno	Cri	C ₁₈ H ₁₂		228,29	255-256	448	0,06	1,274	6,06x10 ⁻⁴	5,16	5,30
Dibenzo(a,h)antraceno	DahA	C ₂₂ H ₁₄		278,35	262	-	0,0005	1,252	8,4x10 ⁻⁷	6,84	6,52
Fenantreno	Fen	C ₁₄ H ₁₀		178,23	100	340	1,20	1,172	2,13x10 ⁻⁵	4,45	4,15
Fluoranteno	Ft	C ₁₆ H ₁₀		202,26	110,8	375	0,27	1,236	6,7x10 ⁻⁵	4,90	4,58
Fluoreno	Fl	C ₁₃ H ₁₀		166,22	116-117	295	1,9	1,203	9,16x10 ⁻⁸	4,18	3,86
Indeno(1,2,3-cd)pireno	Ind	C ₂₂ H ₁₂		276,34	163,6	530	0,0008	-	4,12x10 ⁻⁶	6,58	6,20
Naftaleno	Naf	C ₁₀ H ₈		128,17	80,26	218	32	1,162	2,25x10 ⁻⁵	3,29	2,97
Pireno	Pir	C ₁₆ H ₁₀		202,26	156	393-404	0,16	1,271	1,3x10 ⁻⁸	4,88	4,58

2.1.3.DISTRIBUIÇÃO NO AMBIENTE E DEGRADAÇÃO

A maioria das emissões diretas de HAPs ocorrem para a atmosfera, provenientes dos incêndios florestais, vulcões e emissões não controladas (ATSDR 1995).

A sua presença na atmosfera está na sua maioria associada a partículas, no entanto estes compostos também são encontrados na fase gasosa, dependendo da sua volatilidade. Os HAPs de baixo peso molecular que têm dois ou três anéis aromáticos são emitidos na fase gasosa, enquanto os de peso molecular elevado, com cinco ou mais anéis, são emitidos na forma de partículas (Lee 2010).

As partículas são removidas através da precipitação ou deposição, sendo esta uma potencial via de entrada dos HAPs no ciclo hidrológico (ATSDR 1995). Os processos que transformam e degradam os HAPs na atmosfera incluem a fotólise e reação com O_3 , NO_x , SO_x , e OH (Maliszewska-Kordybach 1999).

A maioria dos HAPs no solo resulta da deposição atmosférica após o transporte local e de longo alcance. Outras fontes potenciais de HAPs no solo incluem a eliminação de lamas de estações de tratamento de esgotos, escapes de automóveis, pneus, asfalto, fertilizantes, entre outros (Wcisło1998).

Estes poluentes fixam-se por sorção no solo e sedimentos, e esta aumenta com o aumento do teor de carbono orgânico e com o aumento da área de superfície das partículas adsorventes. Os HAPs no solo também podem entrar na água subterrânea e ser transportados dentro de um aquífero (ATSDR 1995).

O metabolismo microbiano é o principal processo de degradação de HAPs no solo, podendo também sofrer volatilização, fotólise, oxidação e acumulação pelas plantas (Wick *et al.* 2011).

Os HAPs entram nas águas superficiais através da deposição atmosférica, escoamento superficial em áreas urbanas, ou descargas industriais, incluindo derrames de petróleo. Nas águas subterrâneas podem surgir por migração direta a partir de águas superficiais contaminadas, efluentes agrícolas, água de irrigação, chorume ou o próprio solo contaminado (Vela *et al.*, 2012).

Os HAPs tendem a ser removidos a partir da coluna de água por volatilização para a atmosfera, através da ligação com partículas em suspensão ou sedimentos no fundo, ou ser acumulados ou sorvidos sobre a biota aquática. Os processos mais importantes que contribuem para a sua degradação na água são a foto-oxidação, oxidação química, e biodegradação por microrganismos aquáticos (USEPA 1984).

O mecanismo de degradação dos HAPs é mais complexo e dificultado que os restantes hidrocarbonetos, devido à presença de anéis aromáticos nas suas estruturas. Além disso, são mais estáveis no ambiente, devido às suas características físicas e químicas (Lemos *et al.* 2009).

2.1.4. HAPs E CARCINOGENÉSE

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) são um grupo de compostos de grande preocupação ambiental por serem mutagénicos, carcinogénicos e teratogénicos (Olivella *et al.* 2006).

Os seres humanos podem ser expostos a estes compostos essencialmente por três vias no ambiente: inalação de ar, ingestão de água ou ingestão de alimentos que contenham HAPs. Uma vez no organismo podem causar problemas ao nível do sistema respiratório, neurológico, causar defeitos de nascença e até cancro (Wick *et al.* 2011).

A sua carcinogenicidade e toxicidade variam de acordo com o carácter químico, molecular e de acordo com o tamanho e forma (HAPs de baixa massa molar são considerados tóxicos e os HAPs de massas molares elevadas são considerados capazes de causar danos no ADN), podendo o seu efeito ser mais elevado de acordo com a estação do ano, tipo de combustível e fonte de poluição, e também o tamanho da região exposta (Manzetti 2013; Wick *et al.* 2011).

Algumas entidades estabeleceram critérios de avaliação dos HAPs quanto à sua classificação carcinogénica. Segundo a lista de poluentes prioritários publicada em 2013 pela ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*), os HAPs encontram-se em 9º lugar, numa lista de 275 poluentes, devido às suas propriedades carcinogénicas e mutagénicas. O Benzo(a)pireno encontra-se em 8º lugar e o Benzo(b)fluoranteno em 10º.

A IARC (*International Agency for Research on Cancer*) apresenta uma classificação de várias substâncias divididas em 5 grupos, na qual 15 dos 16 HAPs fazem parte de quatro categorias, à exceção do Acenaftileno (Aci). O Benzo(a)pireno (BaP) é o mais perigoso dos 16 HAPs prioritários, sendo o único presente no Grupo 1, classificado como carcinogénico para os humanos.

Tabela 2: Classificação carcinogénica dos 16 HAPs pela *International Agency for Research on Cancer* (IARC)

	Classificação	Substância
Grupo 1	Carcinogénicos para os humanos	BaP
Grupo 2A	Prováveis carcinogénicos humanos	DahA
Grupo 2B	Possíveis carcinogénicos humanos	BaA, BbF, BkF, Cri, Ind, Naf
Grupo 3	Não classificáveis como carcinogénicos humanos	Ace, Ant, BghiP, Fen, Fl, Ft, Pir

2.1.5. LEGISLAÇÃO APLICADA

Além das classificações apresentadas pelas instituições americanas, a Comunidade Europeia apresenta legislação na qual estão estabelecidos valores limite para os 16 HAPs prioritários no ambiente.

O Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de agosto, transcreve para a constituição portuguesa a Diretiva 98/83/CE do Conselho Europeu, e estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano. Neste Decreto é estabelecido o valor limite de 0,10 µg/L para a soma das concentrações de BbF, BkF, BghiP e o Ind, e o valor limite de 0,010 µg/L para o BaP.

O Decreto-Lei n.º 351/2007, de 23 de outubro transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2004/107/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de dezembro, estabelecendo valores alvo para as concentrações de arsénio, cádmio, mercúrio, níquel e BaP, sendo utilizadas como marcadores do risco carcinogénico dos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no ar ambiente. O valor alvo correspondente ao BaP é de 1 ng/m³. É proposta também a monitorização de outros HAPs relevantes como BaA, BbF, BkF, Ind, DahA e benzo(j)fluoranteno.

A Diretiva 2006/118/CE estabelece padrões de qualidade das águas subterrâneas e introduz medidas para prevenir ou limitar a introdução de poluentes, estabelecendo critérios de qualidade que tenham em conta as características locais e permite novas melhorias a serem feitas com base na monitorização de dados e novos conhecimentos científicos.

As águas subterrâneas são definidas neste documento como um recurso natural precioso que dever ser protegido contra a poluição e a deterioração, e é

considerado como o mais sensível e maior corpo de água doce da União Europeia e, em particular, a principal fonte de abastecimento público de água em muitas regiões.

O quadro da Comunidade Europeia estabelece critérios de saúde para a água potável como requerido pela diretiva 98/83/CE.

O Decreto-Lei nº 103/2010 de 24 de setembro transpõe a Diretiva nº 2008/105/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro, no qual se estabelecem normas de qualidade ambiental (NQA) para determinar poluentes classificados como substâncias prioritárias, tendo em vista assegurar a redução gradual da poluição provocada por estas substâncias e alcançar o bom estado das águas superficiais.

Neste documento é divulgada uma lista de substâncias prioritárias no domínio da política da água na qual os HAPs são classificados como substâncias prioritárias e prioritárias perigosas.

2.2. FOGOS FLORESTAIS EM PORTUGAL

Portugal é o país do sul da Europa relativamente mais afetado pela ocorrência de fogos florestais. A sua distribuição é sazonal, havendo um maior número de ocorrências entre julho e setembro devido à localização do país na bacia do Mediterrâneo, onde o clima é médio elevado, com verões quentes e secos, luminosidade forte, grande insolação e um inverno moderado. Estas condições propiciam um ambiente extremamente favorável à criação de condições para a deflagração e propagação do fogo devido ao baixo teor de humidade e grande quantidade de combustível vegetal disponível (Martins 2010).

Para além disso, a evolução socioeconómica e demográfica nas zonas rurais levaram ao abandono de terras agrícolas e posterior invasão por espécies arbustivas ou florestação. Em ambos os casos é gerado mais combustível, aumentando o risco de incêndio (Moreira *et al.* 2009).

A incidência de fogos florestais concentra-se sobretudo a norte do Tejo e em algumas zonas do Algarve e deve-se à elevada concentração humana e à elevada zona de interface urbano-florestal (Martins 2010).

A figura 4 representa os valores de área ardida e o número de fogos florestais compreendidos entre os anos de 1980 e 2013.

A análise do período de 1980 a 2005 permite confirmar uma tendência de aumento destas variáveis, sendo particularmente significativo nos anos de 2003 e 2005. Verifica-se que o ano de 2003 foi o que registou maior área ardida, já o de 2005 foi o que registou maior número de ocorrências, embora com uma área ardida inferior à de 2003 (Ferreira-Leite *et al.* 2013).

Por outro lado, a partir do ano de 2006 observa-se novamente um decréscimo bastante significativo da área ardida bem como um decréscimo no número de ocorrências. O ano de 2008 foi aquele que registou menor número de ocorrências mas também menor área ardida. A partir deste ano observa-se novamente o aumento tanto de área ardida como de ocorrências, contudo sem alcançarem os valores atingidos em 2003 e 2005 (Ferreira-Leite *et al.* 2013, Ferreira *et al.* 2009).

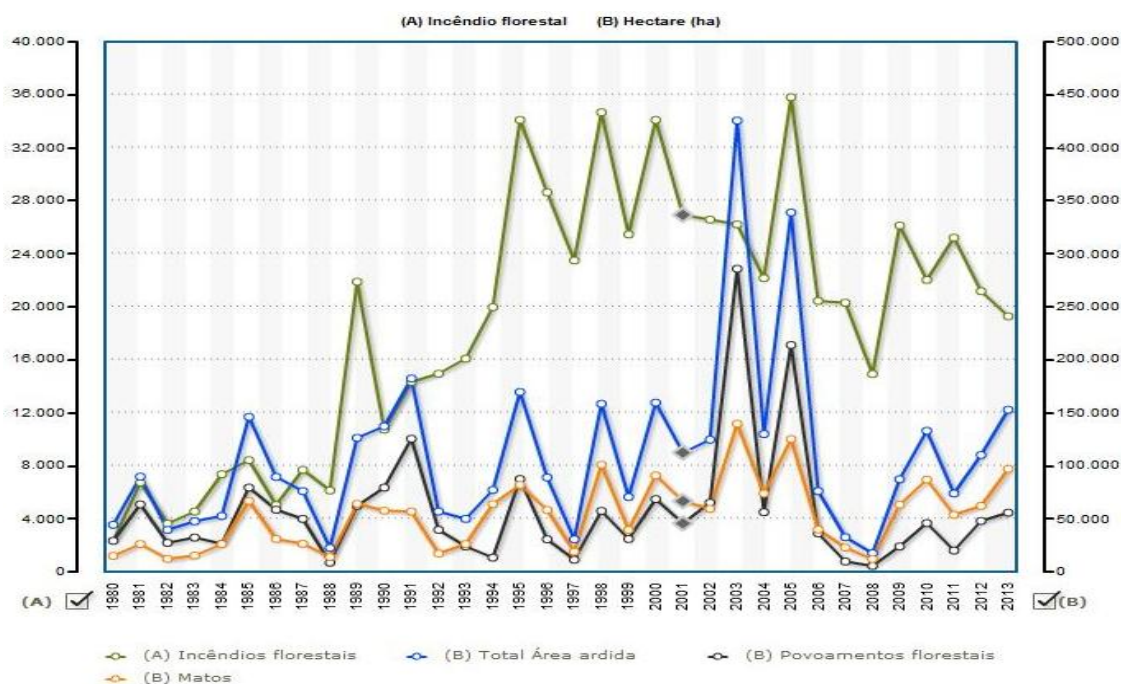


Figura 4: Fogos florestais e área ardida em Portugal Continental entre 1980 a 2013.

(<http://www.pordata.pt/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Gr%C3%A1fico>)

Os dados mais recentes em matéria de fogos florestais mostram que em 2013 foram contabilizados em Portugal Continental um total de 19.291 fogos, dos quais 3.845 (20%) correspondem a fogos florestais e 15.446 (80%) a fogachos. No total ardeu uma área de 152.758 hectares.

Pode-se ainda verificar pela tabela 3 que o distrito do Porto foi o que apresentou maior número de ocorrências, seguido de Braga e Viseu, sendo elas maioritariamente fogachos, ou seja, pequenos incêndios que não ultrapassam 1 hectare de área ardida.

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

O distrito de Viseu apresentou maior área ardida, seguido de Vila Real e Bragança.

As duas espécies florestais mais afetadas nos últimos anos são o pinheiro-bravo e o eucalipto. Em 2013, a percentagem de área ardida por espécie florestal foi respetivamente 41,5% e 40,1% (ICNF, 2014).

Tabela 3: Número de fogos florestais e área ardida, por distrito, entre 1 de janeiro e 31 de dezembro de 2013 (ICNF, 2014)

Distrito	Ocorrências			Ocorrências resultantes de reacendimentos	Área ardida (hectares)		
	Incêndios florestais	Fogachos (Área <1ha)	Total		Povoamentos	Matos	Espaço florestal
Aveiro	155	1.214	1.369	307	2.503	721	3.224
Beja	22	38	60	0	460	117	577
Braga	655	1.409	2.064	249	4.083	7.942	12.025
Bragança	194	251	445	20	5.106	17.991	23.097
Castelo Branco	47	308	355	3	1.616	1.503	3.119
Coimbra	48	644	692	36	2.037	1.147	3.184
Évora	29	6	35	0	242	49	291
Faro	17	233	250	1	18	512	530
Guarda	213	223	436	30	2.683	7.135	9.818
Leiria	48	293	341	23	498	1.831	2.329
Lisboa	183	1.009	1.192	1	137	767	904
Portalegre	23	49	72	0	694	94	788
Porto	720	5.312	6.032	574	5.924	8.163	14.087
Santarém	49	320	369	1	484	152	636
Setúbal	38	582	620	11	240	240	480
Viana do Castelo	504	1.272	1.776	432	3.347	9.104	12.451
Vila Real	446	807	1.253	184	9.449	13.760	23.209
Viseu	454	1.476	1.930	401	16.152	25.857	42.009
TOTAL	3.845	15.446	19.291	2.273	55.673	97.085	152.758

A Serra do Caramulo sofreu no verão de 2013 três grandes fogos que afetaram várias freguesias dos concelhos de Tondela, Oliveira de Frades, Vouzela, Viseu (distrito de Viseu) e Águeda (distrito de Aveiro), resultando numa área ardida aproximadamente de 9.415,5 hectares. A sua extensão está representada no mapa da figura 5.

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

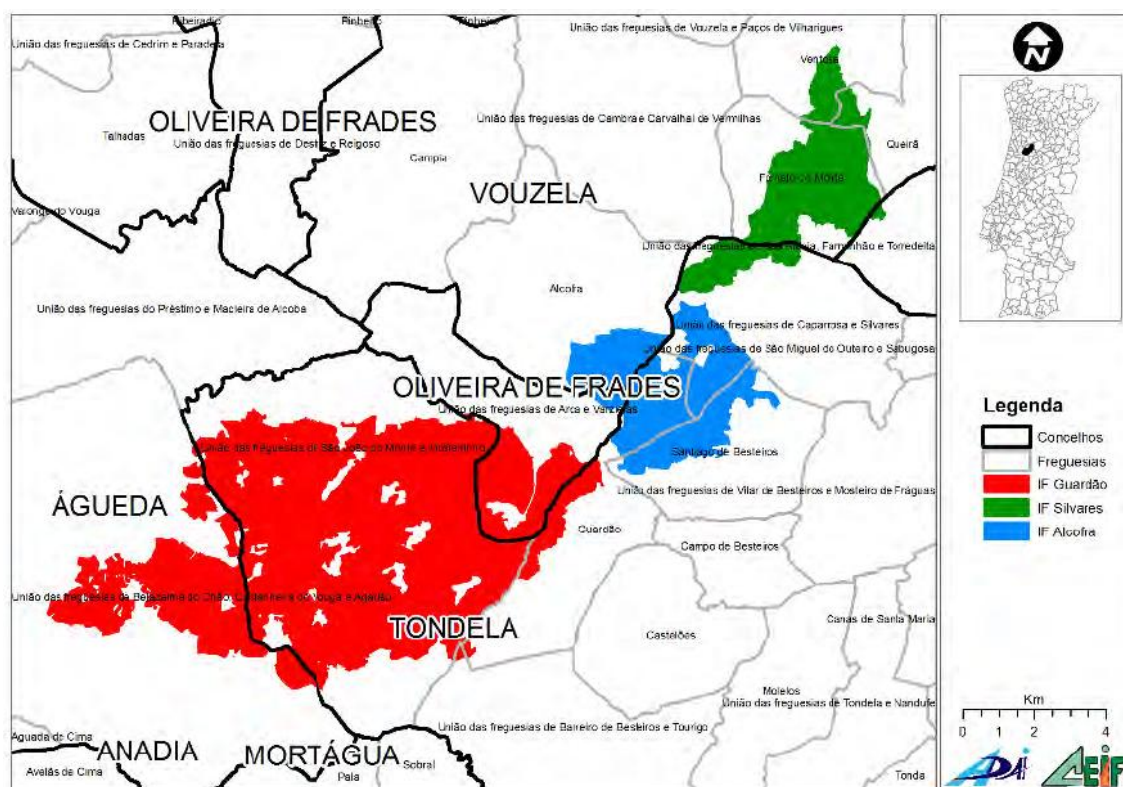


Figura 5: Distribuição da área ardida dos três grandes fogos florestais ocorridos na Serra do Caramulo em 2013 (Viegas *et al.* 2013)

Na tabela 4 são apresentados os valores de área ardida por concelho em relação à área total e respetiva percentagem de área ardida. O concelho de Tondela foi o mais afetado.

Tabela 4: Distribuição por concelho da área ardida na Serra do Caramulo em 2013 (ICNF 2014)

Concelho	Área total	Área ardida	%
Águeda	33.530	1.269,84	3,79
Oliveira de frades	14.530	613,29	4,22
Tondela	37.120	6.123,13	16,50
Vouzela	19.370	1.394,59	7,20
Viseu	50.710	14,64	0,03

A área afetada pelos incêndios no Caramulo é na sua maioria de natureza florestal (5.844 hectares), matos e pastagens (3.097 hectares) e agricultura (400 hectares). Das espécies florestais, o eucalipto (3.297 hectares) foi o mais afetado, seguido do pinheiro-bravo (2.248 hectares), outras espécies (250 hectares) e carvalhos (50 hectares) (ICNF, 2013).



Figura 6: Aspeto da zona envolvente de uma aldeia da Serra do Caramulo um ano após o fogo florestal de 2013

2.3. OBJECTIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal o estudo dos efeitos que advêm da ação de fogos florestais sobre a qualidade da água subterrânea e superficial após os fogos ocorridos na região montanhosa da Serra do Caramulo e consiste em:

- Determinar se existe contaminação por HAPs nas águas subterrâneas e superficiais;
- Identificar quais dos 16 HAPs prioritários estão presentes em cada amostragem;
- Determinar os parâmetros físico-químicos e hidrogeoquímicos das águas analisadas;
- Avaliar a evolução dos parâmetros analisados no período do estudo.

3. CARATERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. SERRA DO CARAMULO

A Serra do Caramulo é uma elevação do centro de Portugal Continental, na região de transição da Beira Alta para a Beira Litoral e separa as bacias hidrográficas do rio Vouga e do rio Mondego (Pereira 1988).

Esta está situada entre as coordenadas aproximadas 40° 24' – 40° 43' N de latitude e 8° 03' – 8° 22' W de longitude e pertence aos concelhos de Tondela, Vouzela, Oliveira de Frades, parte do concelho de Mortágua (distrito de Viseu) e ainda parte do concelho de Águeda (distrito de Aveiro), ocupando uma área aproximadamente de 500 km² (Ribeiro 2006).

A serra tem como ponto mais alto o Caramulinho, com 1074 metros de altitude.



Figura 7: Vertente norte do Caramulinho, com 1074 metros

3.1.1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A Serra do Caramulo é caracterizada como uma região de relevo forte e vigoroso, mas que apresenta ao mesmo tempo variações notáveis do ponto de vista morfológico, em grande parte condicionadas pela natureza geológica do terreno (Martins 1962).

As rochas existentes na serra do Caramulo são maioritariamente xistos e granitos de diferentes tipos. Embora a maior parte da região seja constituída por rochas graníticas, em determinados locais surgem pequenos retalhos xistosos na mancha granítica, que pela sua dureza escaparam à erosão (Pereira 1988). No meio da formação xistenta existe uma mancha de quartzitos relativamente extensa que se prolonga para noroeste com a extensão de alguns quilómetros (Ferreira 2008).

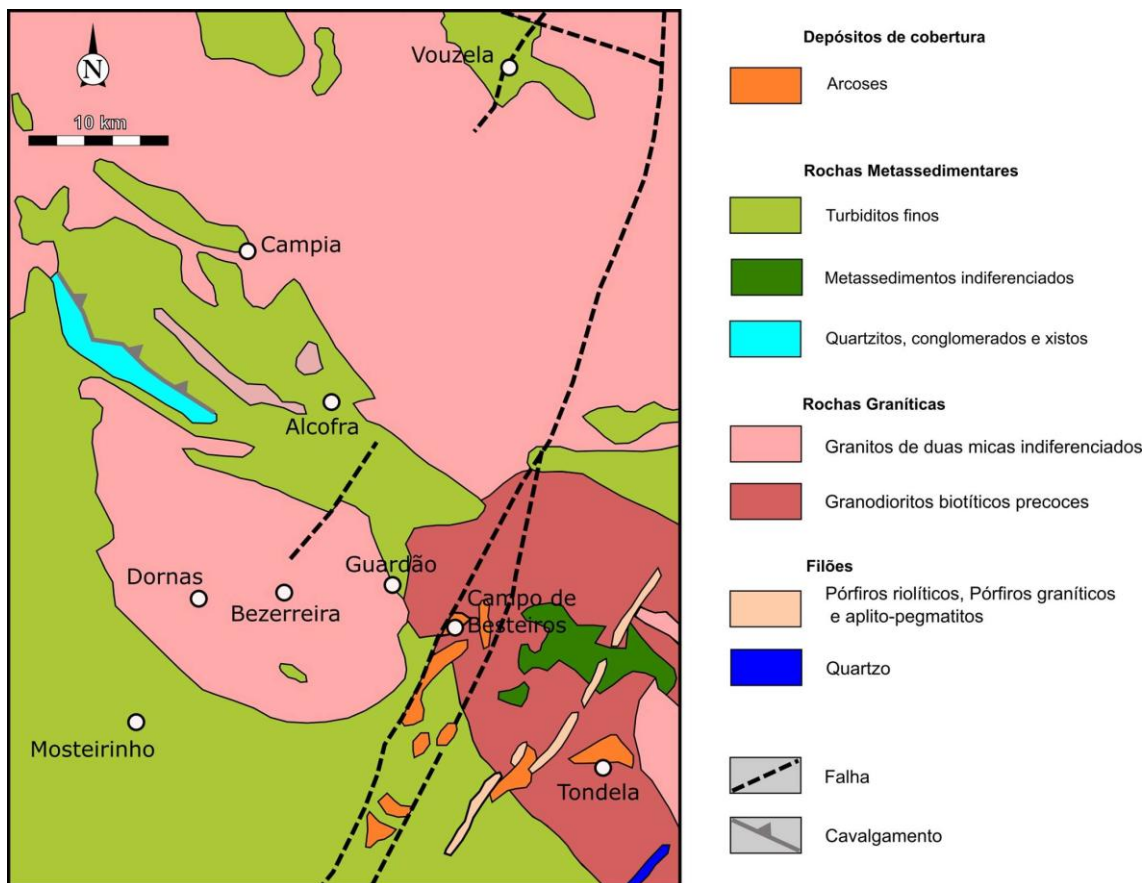


Figura 8: Unidades geológicas da região da Serra do Caramulo (Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000)

A serra está orientada na direção NE-SW apresentando no dorso uma série de picos graníticos que a SW são substituídos por relevos mais suaves na zona de xistos, de configuração arredondada mas intensamente dissecados pela ação da erosão (Martins 1962). À passagem para o terreno de xistos, há um abaixamento progressivo da serra, até à altitude de 300 metros (Pereira 1988).

A vertente SW do Caramulo é particularmente íngreme, escarpada, enquanto para norte, verifica-se uma descida relativamente rápida desde o cimo da serra até ao vale do rio Águeda, onde as altitudes oscilam entre os 500 e 600 metros. A partir daí o terreno torna-se mais ou menos ondulado, baixando progressivamente até ao vale do rio Vouga (Ribeiro 2006).

3.1.2. HIDROLOGIA

A Serra do Caramulo constitui, através da sua cumeada, a linha divisória das águas da bacia do rio Vouga, a Norte, e da bacia do rio Mondego, a Sul.

Na vertente SE os cursos de água constituem ramificações terminais da rede do Mondego, que é dominada pelo rio Criz. A este se juntam as águas dos ribeiros Castelões, do Barreiro, Mau e de Campo de Besteiros (Ribeiro 2006). Ainda nesta zona existem numerosas ribeiras e ravinas que formam uma intrincada rede ao longo da vertente em direção à bacia de Mortágua, acabando por desaguar no Mondego. Estas correm geralmente na direção NW-SE ou N-S (Pereira 1988).

Do lado NW, o rio Vouga e os seus afluentes, Alfusqueiro, Alcofra, Águeda e Agadão constituem os cursos de água mais importantes. O rio Alcofra junta-se ao Alfusqueiro, que por sua vez desagua no rio Águeda. O rio Agadão desagua igualmente no Águeda, afluente do Vouga na margem esquerda (Ribeiro 2006).

Todos estes rios correm de Este para Oeste em vales profundamente encaixados (Martins 1962).

3.1.3. CLIMA

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM) o clima é caracterizado pelos valores médios das condições meteorológicas, ou normais climatológicas, calculadas para um período de 30 anos. Os valores médios obtidos permitem identificar diferentes tipos de clima, sendo utilizada a classificação de Köppen.

Esta classificação identifica o clima da Serra do Caramulo como temperado com verão seco e suave, do tipo Csb. Os dados analisados correspondem às normais climatológicas do período de 1971-2000.

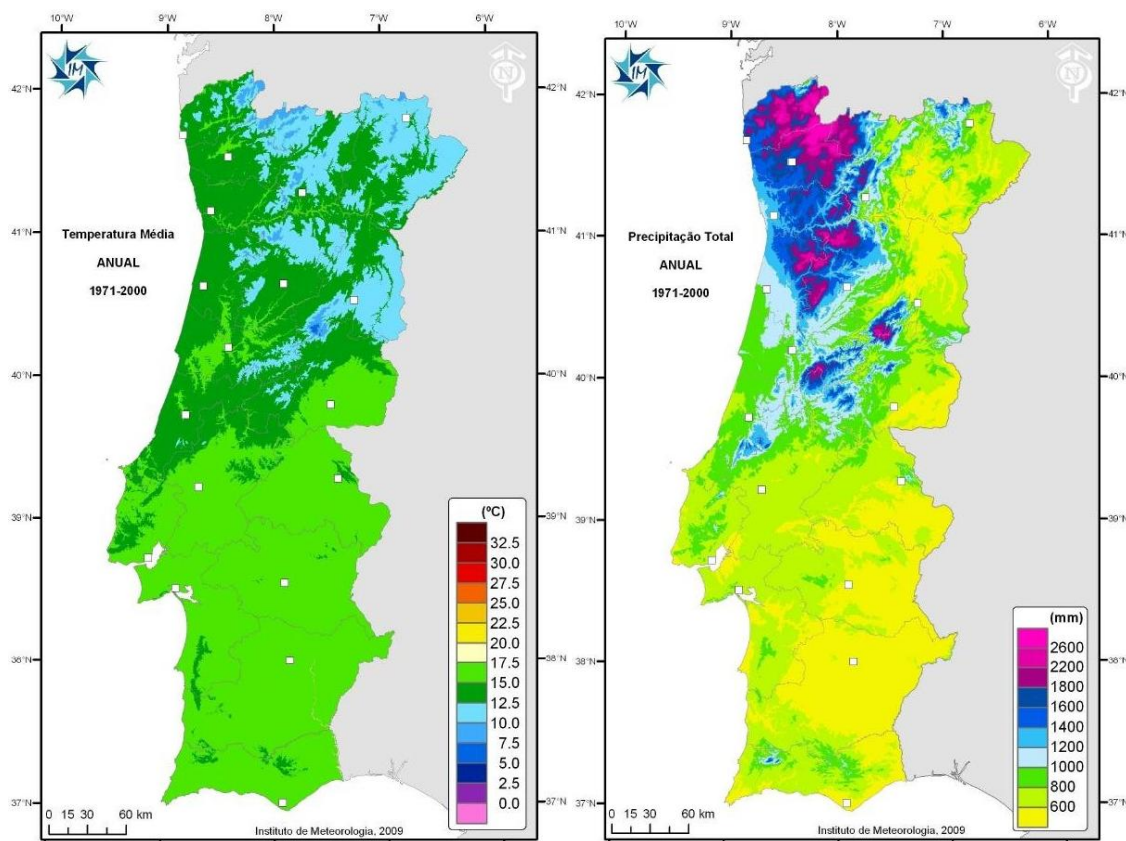


Figura 9: Temperatura e precipitação média anual de Portugal continental correspondentes ao período de 1971-2000 (Silva 2010)

A temperatura na Serra do Caramulo diminui com a altitude e a amplitude da variação anual da temperatura aumenta com a distância ao mar. Para além da altitude, os ventos fortes nas encostas viradas a ocidente criam um clima desfavorável pelas temperaturas que se fazem sentir (Ferreira 2008).

As temperaturas médias anuais oscilam entre 10°C e 12,5°C, nos meses de inverno as médias das temperaturas mínimas oscilam entre 2,5°C e 5°C e nos meses

de verão as médias das temperaturas máximas oscilam entre 22,5°C e 27,5°C (Silva 2010).

A distribuição das precipitações na área em estudo é fortemente influenciada pelo relevo e pela proximidade ao oceano Atlântico (Boulet 2011). Os ventos húmidos de oeste sopram na direção ENE, tendendo a subir com a aproximação à montanha, criando uma instabilidade vertical provocando a queda de chuva em toda a região com intensidades variáveis de acordo com a altitude. Na vertente SE dá-se uma precipitação moderada devido à ascensão das massas de ar com menor humidade, resultando em chuvas fracas, embora apresentando forte nebulosidade. A sul as precipitações são mais raras mas mais intensas (Pereira 1988).

A precipitação média anual varia com a altitude entre 1800 mm e 2200 mm. Nos meses de verão a precipitação média oscila entre 100 mm e 200 mm e no inverno entre 800 mm e 1000 mm (Silva 2010).

3.1.4. VEGETAÇÃO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Nas últimas décadas, a vertente ocidental do Caramulo sofreu mudanças drásticas ao nível do uso do solo, passando de terreno baldio a pinhal na metade do século XX, e convertido em eucaliptal na segunda metade do século. O aumento da recorrência de fogos florestais levou as populações a optar por espécies florestais com retorno sobre investimento mais rápido (Boulet 2011).

A vertente ocidental é atualmente dominada por povoamentos de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) e pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*), mas também de manchas de carvalho (*Quercus robur* e *Quercus pyrenaica*) (CMV 2014).

O estrato arbustivo é composto maioritariamente por carqueja (*Pterospartum tridentatum*), várias espécies de urzes (*Erica sp.*) e tojos (*Ulex spp.* e *Genista triacanthos*) (Boulet 2011).

A atividade agrícola desenvolve-se junto aos aglomerados populacionais, sendo constituídas por prados e culturas. Mais próximo das habitações surgem parcelas dedicadas à horticultura para consumo próprio (CMV 2014).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para a realização do presente trabalho envolve os seguintes aspetos:

1. Compilação da informação disponível;
2. Recolha das amostras de água;
3. Medição de pH, temperatura e condutividade elétrica da água *in situ*;
4. Determinação dos teores de HAPs e de parâmetros hidrogeoquímicos em laboratório.

As amostras de água foram recolhidas em oito pontos da Serra do Caramulo em áreas que sofreram fogos florestais no verão de 2013, à exceção de um ponto numa zona não ardida, utilizado como controlo. Os pontos foram escolhidos por apresentarem água corrente o ano inteiro e por se encontrarem afastados de outras fontes poluidoras.

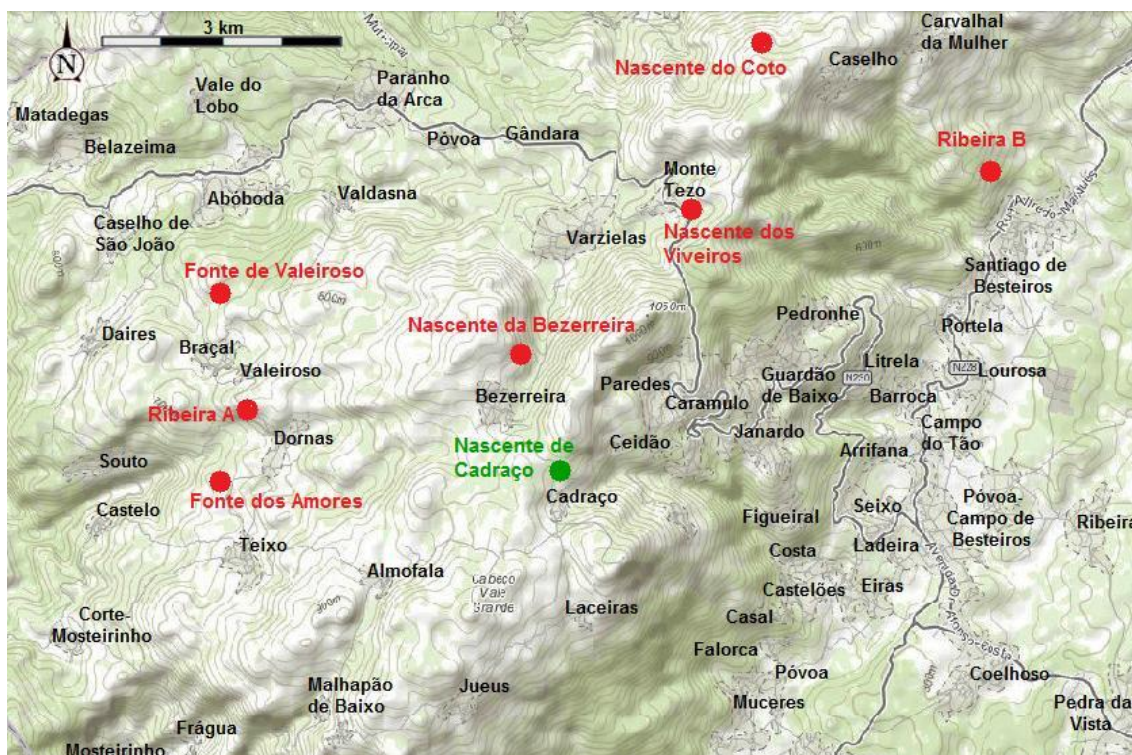


Figura 10: Localização geográfica dos pontos amostrados


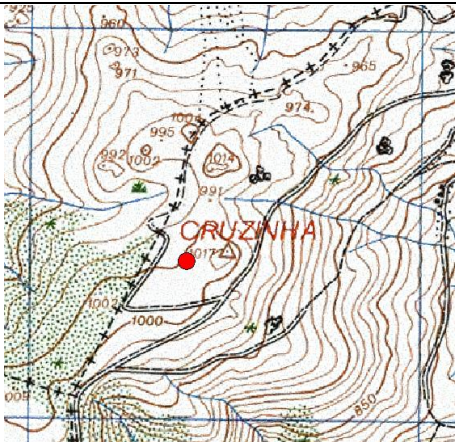
Foram feitas cinco campanhas nos meses de setembro de 2013, janeiro, abril e junho de 2014 e março de 2015, abrangendo a Nascente do Coto, a Nascente dos

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

Viveiros, Fonte dos Amores, Fonte de Valeiroso, Ribeira A (aldeia de Dornas), Ribeira B (lugar de Muna), Fonte de Cadraço e Fonte do Leão. As fontes de Cadraço e Leão foram rejeitadas após a primeira amostragem por se evidenciar contaminação agrícola e aplicação de desinfetantes, sendo substituídas nas campanhas seguintes pela Nascente da Bezerreira e Nascente de Cadraço (controlo) respetivamente.

De modo a caracterizar da melhor maneira os locais de amostragem deste estudo, foi elaborado um inventário hidrogeológico. O modelo de ficha de inventário adotado, representado na tabela 5 apresenta informação relativa à designação, tipo, localização, topografia, geologia, características físico-químicas, entre outras.

Tabela 5: Modelo de ficha e inventário hidrogeológico adotada

Ficha nº 1	Designação: Nascente do Coto	Tipo: Nascente
Cota: 969 m	Carta topográfica: 187 (Tondela) Escala: 1/25 000	Litologia da Bacia hidrogeológica: xisto
Coordenadas: N 40°36'10,0" W 8°9'23,0"	Carta geológica: 16B Escala: 1/50 000	Ocupação do solo da bacia: floresta de folhosas e resinosas
Tipo de nascente: ✓ Permanente Temporária	Condições de acesso: acessível durante todo o estudo	
	Observações:	
Emergência através de: Tubo Rocha Solo Zona alagada	Geomorfologia: ✓ Planalto Encosta Vale	Utilização: Consumo humano Rega Pecuária
Características e propriedades da água		
Cheiro: inodora	Cor: incolor	Turbidez: água límpida
Parâmetros físico-químicos da água ^(*)		
Temperatura: 11,76 °C	Condutividade: 34,2 µS/cm	pH: 5,21
Documento fotográfico		Localização
		

No anexo I encontram-se as fichas de inventário para cada um dos pontos de amostragem.

As amostras de água para cada ponto foram recolhidas para frascos próprios, de vidro para a análise dos HAPs e de polietileno de alta densidade para a análise dos parâmetros hidrogeoquímicos (figura 11), devidamente identificados e armazenados em sacos térmicos para transporte até ao laboratório, onde foram mantidos a 4°C até à sua análise.



Figura11: Frascos utilizados no armazenamento de água para análise

No momento das amostragens foram medidos no local o pH, condutividade elétrica e temperatura da água em cada ponto. Estes parâmetros foram determinados utilizando o medidor combinado *Hanna Instruments* HI 98129, que após ser devidamente calibrado foi introduzido num recipiente contendo água do ponto a amostrar (figura 12).



Figura 12: Calibração do medidor e medição dos parâmetros físico-químicos da água

Todas as amostras foram posteriormente sujeitas a análise laboratorial para determinação dos teores de HAPs bem como dos vários parâmetros hidrogeoquímicos no Departamento de Saúde Ambiental - Unidade de Água e Solo, do Laboratório de Química e Toxicologia do Instituto Ricardo Jorge (INSA), no Porto.

Para a análise dos teores de HAPs, as amostras foram pré-concentradas através de extração em fase sólida com cartucho e posteriormente analisadas por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (CG-EM) em equipamento Shimadzu QP2010 (figura 13).

Esta técnica tem como princípio a separação e quantificação de compostos orgânicos voláteis e semivoláteis em misturas complexas com grande resolução através da cromatografia gasosa, e da identificação através da informação estrutural detalhada de cada composto utilizando a espectrometria de massa. Deste modo, a combinação destas duas técnicas permite a análise quantitativa e qualitativa de um conjunto de substâncias químicas em solução (Settle 1997).



Figura 13: Cromatógrafo gasoso com espectrómetro de massa acoplado, marca Shimadzu, modelo QP2010
(<http://www.shimadzu.com/an/gcms/qp2010se.html>)

Adicionalmente foram analisados os teores de solutos dissolvidos, mais concretamente de parâmetros hidrogeoquímicos, sendo estes os catiões sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), e os aniões cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}).

A técnica analítica utilizada para determinar os teores destes parâmetros foi a cromatografia iónica (CI). Esta técnica é um tipo específico de cromatografia líquida de alta eficiência cujo objetivo é separar os iões e determinar as suas concentrações (Settle 1997).

A separação das diferentes espécies da amostra é efetuada através de permuta iónica ou pela formação de pares iónicos, usando resinas capazes de separar catiões e aniões (Harris, 1998).

Todos os dados correspondentes a estes parâmetros foram tratados graficamente e em tabelas de modo a analisar os resultados obtidos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresenta-se a análise dos resultados relativos às campanhas das águas subterrâneas e superficiais, correspondentes aos parâmetros físicos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), e parâmetros hidrogeoquímicos.

Para uma análise resumida são apresentados na tabela 6 os valores médios de cada parâmetro para cada um dos pontos de amostragem.

Tabela 6: Valores médios dos parâmetros estudados em cada ponto de amostragem

Valores médios	Nascente do Coto	Nascente dos Viveiros	Fonte dos Amores	Nascente de Valeiroso	Ribeira A	Ribeira B	Nascente de Cadraço	Nascente da Bezerreira
T	11,76	12,56	16,38	16,16	13,88	14,76	10,88	10,85
pH	5,21	5,61	5,67	6,1	6,68	6,67	5,33	5,88
Cond. elétrica	34,2	43,6	34,8	29	25,2	24,8	32,5	35,5
HAPs	28,32	38,42	20,56	19,22	20,20	22,6	17,78	38,98
Na ⁺	13,13	8,46	4,064	4,37	3,44	4,41	2,59	4,41
Ca ²⁺	2,41	1,90	1,31	1,21	1,23	1,03	0,46	1,25
K ⁺	1,24	0,94	0,51	0,50	0,56	0,59	0,15	0,43
Mg ²⁺	1,05	1,25	0,518	0,44	0,56	0,91	0,27	0,66
Cl ⁻	5,78	6,28	5,64	5,43	4,51	5,2	3,43	4,88
SO ₄ ²⁻	0,62	0,96	2,41	1,25	1,71	1,92	0,61	0,92

5.1. PARÂMETROS FÍSICOS

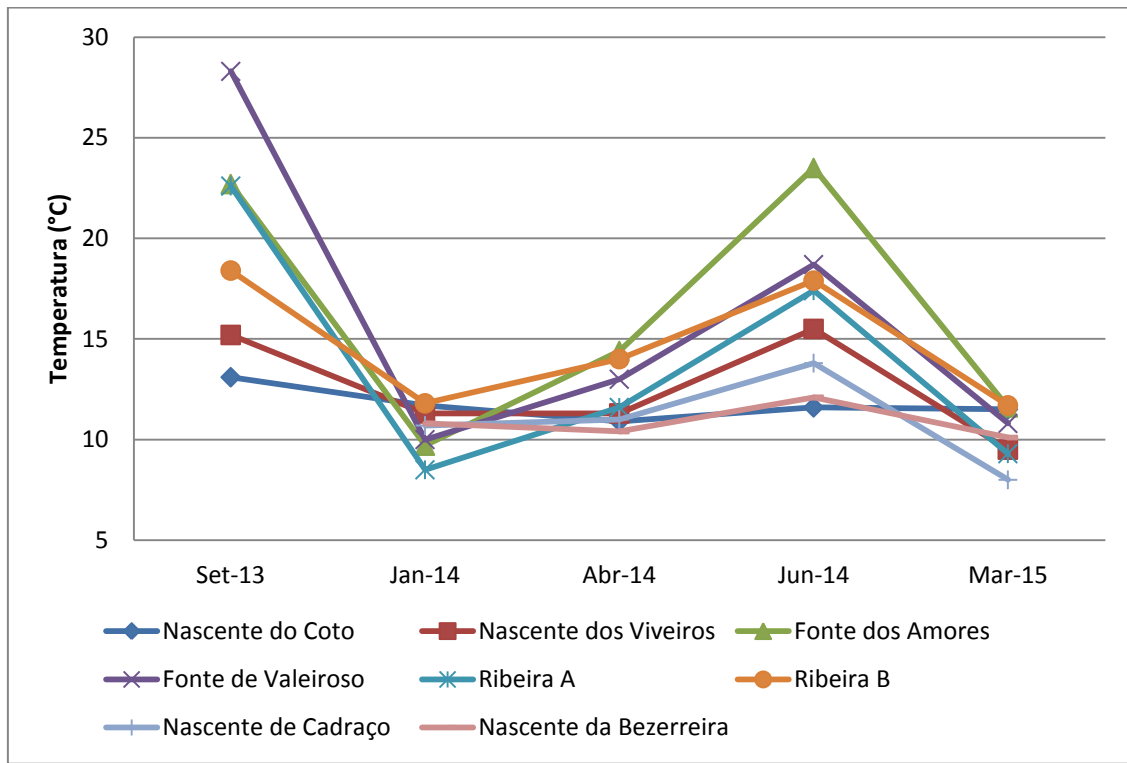


Figura 14: Variação temporal da temperatura medida nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

A figura 14 representa a variação temporal da temperatura da água durante o período de estudo.

As diferenças observadas ao longo das amostragens poderão estar relacionadas com as diferenças climáticas associadas às estações do ano, já que as temperaturas mais altas foram registadas nos meses de setembro de 2013 e junho de 2014. Os pontos de amostragem que apresentaram temperaturas mais estáveis foram a Nascente do Coto e Nascente da Bezerreira.

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

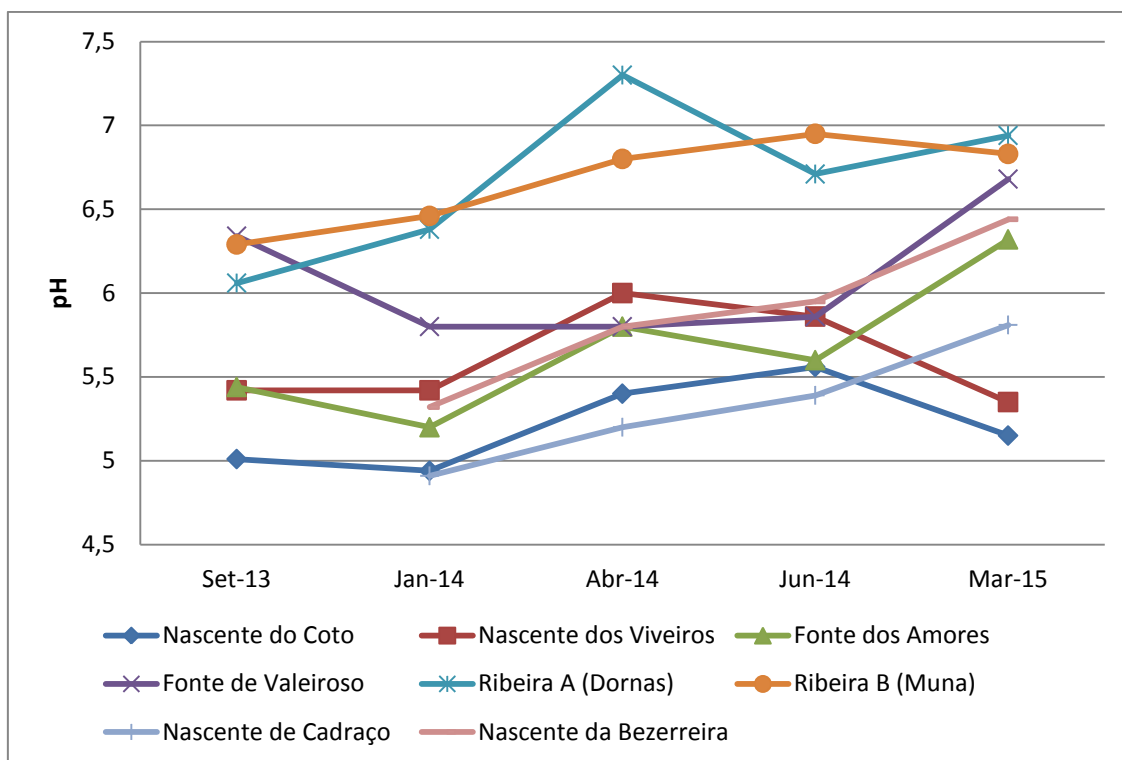


Figura 15: Variação temporal do pH medida nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

A figura 15 descreve a variação dos valores de pH para cada ponto de amostragem. É possível verificar que no geral ocorre um ligeiro aumento de pH, apresentando as amostras um caráter ácido (inferior a 7), à exceção das Ribeiras A e B, onde se registaram valores de pH próximos de 7, sendo os pontos que apresentam pH mais elevado em todo o período de amostragem e onde os efeitos do fogo são mais sentidos. Os valores médios de pH das ribeiras são de 6,68 e 6,87, respetivamente.

Apenas na Nascentes do Coto, Nascente dos Viveiros e Ribeira B se observa um ligeiro decréscimo de pH na última amostragem.

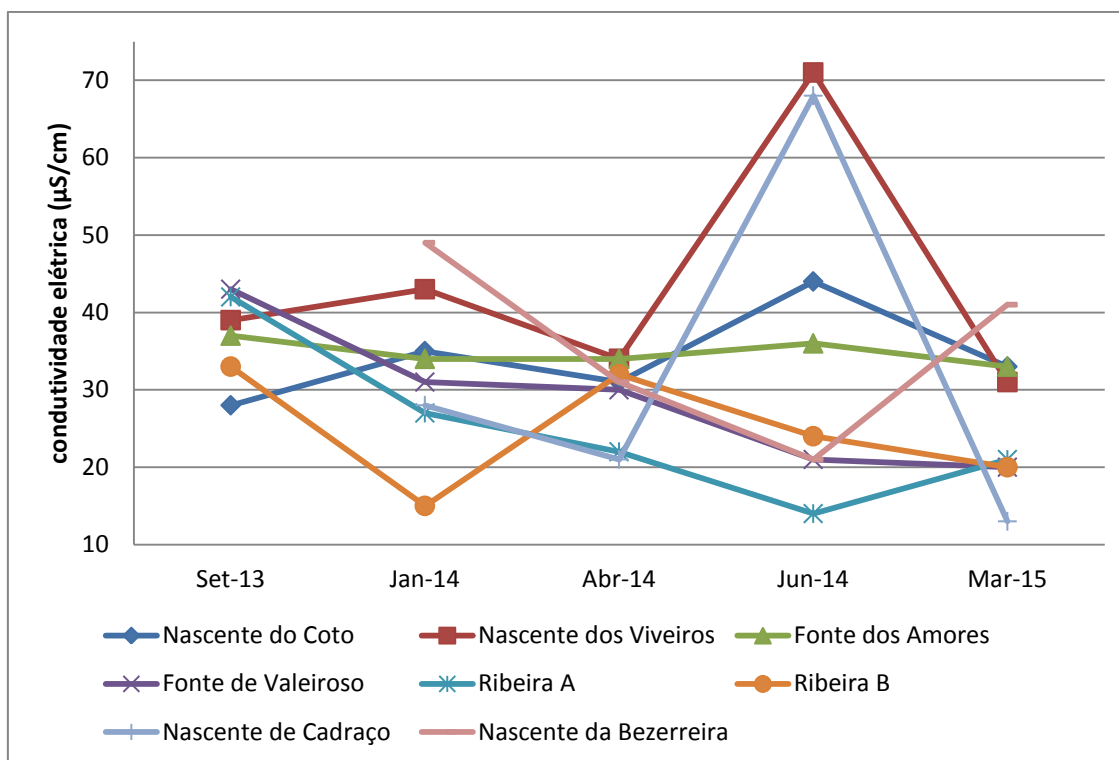


Figura 16: Variação temporal da condutividade elétrica medida nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

Os valores de condutividade elétrica nas três primeiras amostragens variam ligeiramente, à exceção da Ribeira B, que apresenta o valor de condutividade elétrica mais baixo em janeiro.

Em junho destaca-se uma subida acentuada na Nascente dos Viveiros e Nascente de Cadraço (controlo). Esta subida pode estar relacionada com a menor quantidade de água disponível no verão, aumentando a capacidade de condução de corrente elétrica.

O ponto com condutividade elétrica mais estável em todo o período de estudo foi a Fonte dos Amores, com uma média de 34,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A Nascente dos Viveiros apresenta uma condutividade elétrica mais alta do conjunto de pontos (70 $\mu\text{S}/\text{cm}$), com um valor médio de 43,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.2. HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs)

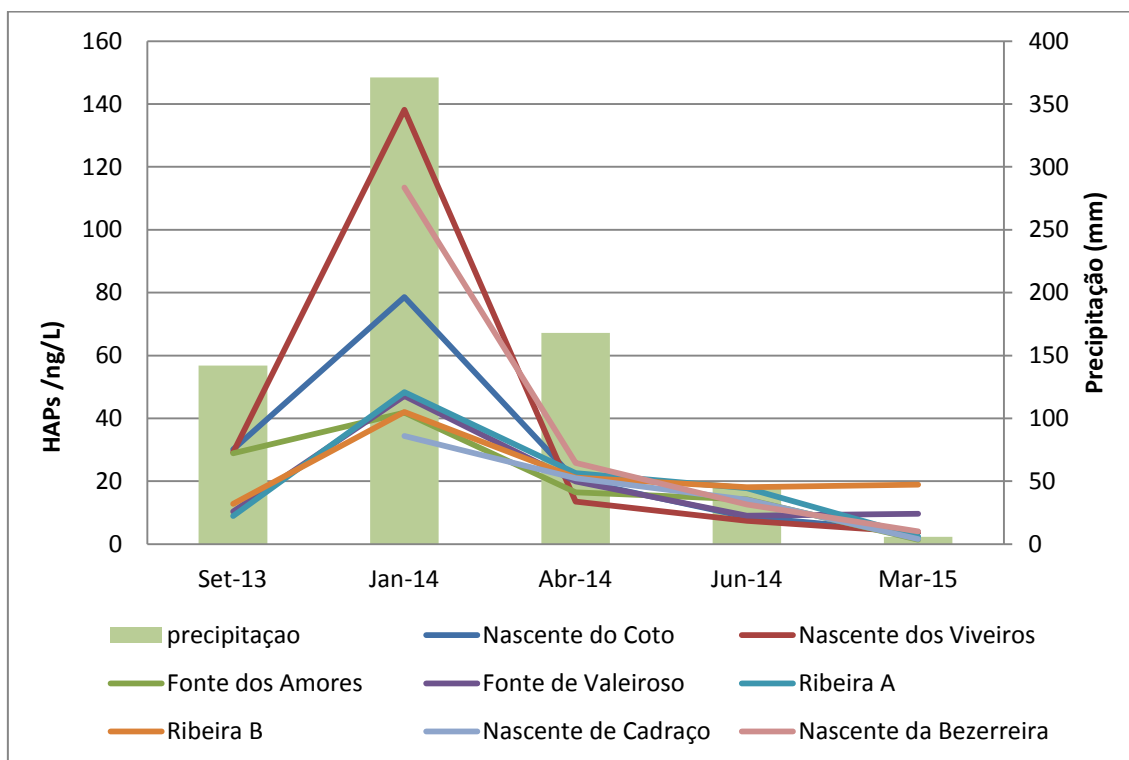


Figura 17: Variação temporal das concentrações de HAPs nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015, comparado com a evolução temporal da precipitação registada na estação meteorológica de Viseu no mesmo período

Analisando as concentrações dos somatórios de HAPs, verifica-se uma grande variação ao longo do período de estudo, coincidente com a quantidade de precipitação ocorrida nos meses de amostragem.

A presença de valores baixos de concentração em setembro indica que houve uma dispersão de cinzas que atingiram as águas. Nas águas superficiais também se observam valores semelhantes, podendo ser justificados pelo facto de que em época de estiagem, ou seja, em época de seca em que os caudais dos rios baixam, estes rios podem ser alimentados pelas águas subterrâneas. Este facto é confirmado pela ocorrência de precipitação apenas ter sido observada após a primeira amostragem, no seguimento de um verão bastante seco e quente.

Em janeiro, observa-se um pico nas concentrações após as chuvas de inverno, apresentando valores bastante elevados na Nascente dos Viveiros (138,2 ng/L), Nascente da Bezerreira (113,4 ng/L) e Nascente do Coto (78,2 ng/L).

Em abril há um decréscimo acentuado em todos os valores, podendo estar associado à diluição causada pela elevada precipitação ocorrida em janeiro e

fevereiro. Nos meses seguintes observa-se uma diminuição gradual com tendência para voltar ao estado inicial já que deixa de haver tanta disponibilidade deste poluente no local.

A presença de concentrações de HAPs na Nascente de Cadraço (ponto de controlo), embora baixos (média de 17,78 ng/L), pode estar associada à dispersão de cinzas pela serra.

No conjunto das cinco amostragens foram encontrados 14 dos 16 HAPs prioritários, sendo as exceções o Fl e Aci.

Tanto na maioria das amostras de áreas ardidas como no controlo, a concentração de Naf, de menor peso molecular (2 anéis benzénicos), é superior aos restantes HAPs mais pesados, com 5 a 6 anéis, presentes em maioria após os eventos de precipitação de janeiro.

Deste conjunto, o BaP é considerado o mais perigoso pela sua carcinogenicidade. Analisando os resultados obtidos em conjunto com os valores estabelecidos na legislação, pode-se constatar que o valor de concentração para as águas de consumo humano estabelecido pelo Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de agosto (0,010 µg/L) é atingido em janeiro na Nascente dos Viveiros, com uma concentração de 0,0113 µg/L.

Relativamente aos restantes hidrocarbonetos, observa-se que a soma das concentrações de Ind e BghiP ultrapassa o valor médio anual estabelecido no Decreto-Lei nº103/2010 de 24 de setembro (0,002 µg/L). Observa-se valores superiores ao estabelecido em pontos de todas as amostragens, no entanto janeiro é o mês em que esses valores são mais altos em todos os pontos, compreendidos entre 0,0065 µg/L (Ribeira B) e 0,0433 µg/L (Nascente dos Viveiros).

Os dados individuais dos 16 HAPs para cada amostragem estão disponíveis no Anexo II.

5.3. PARÂMETROS HIDROGEOQUÍMICOS

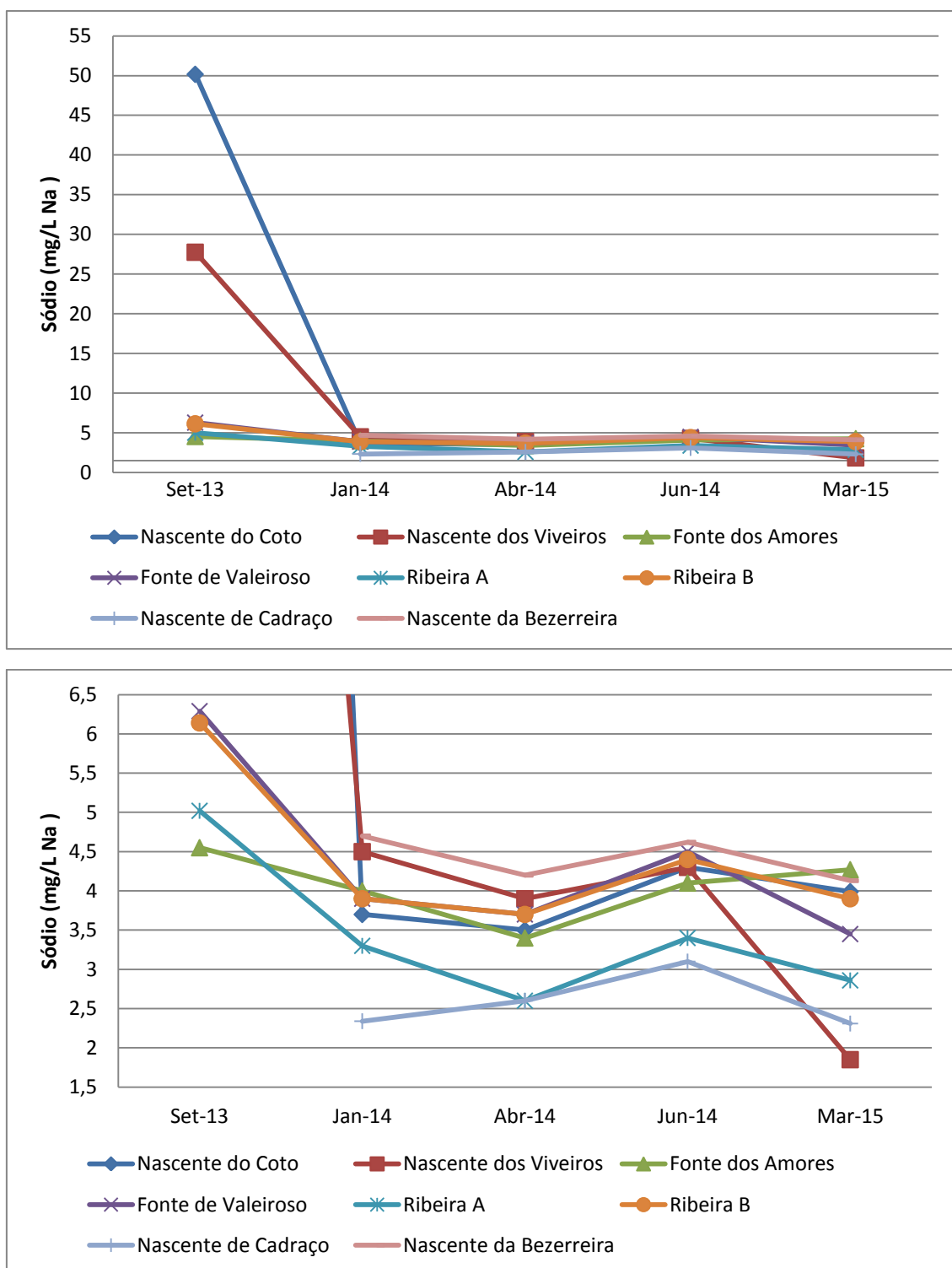


Figura 18: Variação temporal das concentrações de sódio nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015 (em cima); pormenor da variação das concentrações mais baixas de sódio nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015 (em baixo)

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

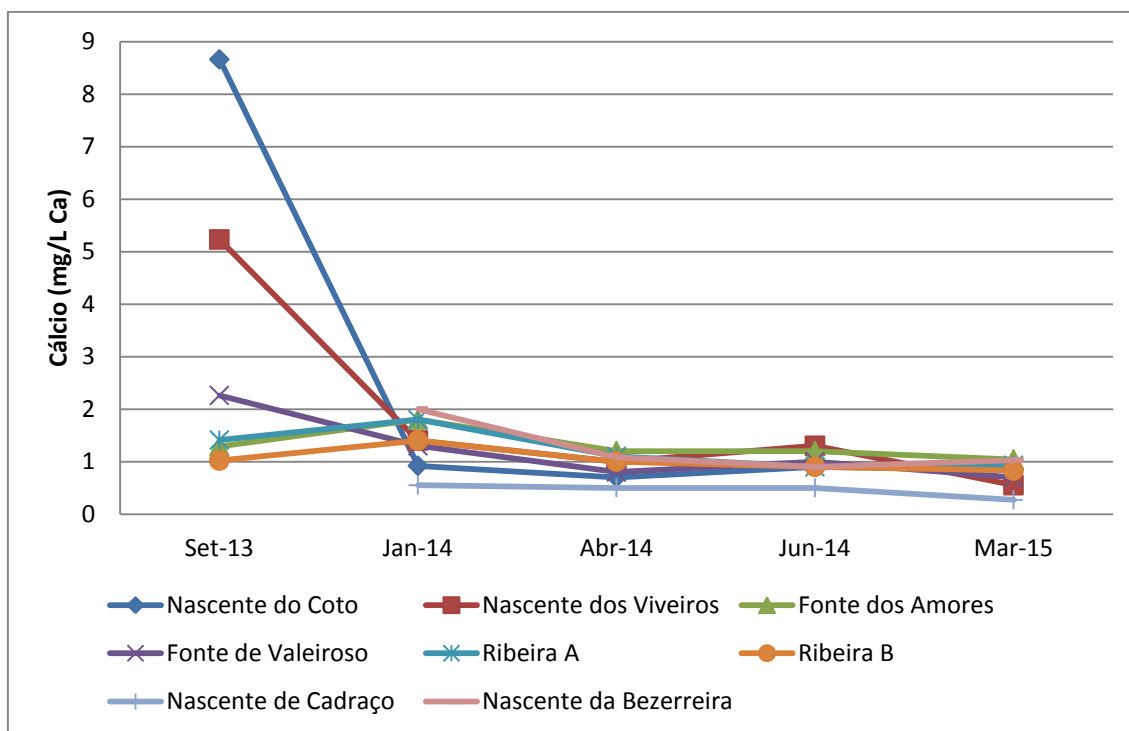


Figura 19: Variação temporal das concentrações de cálcio nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

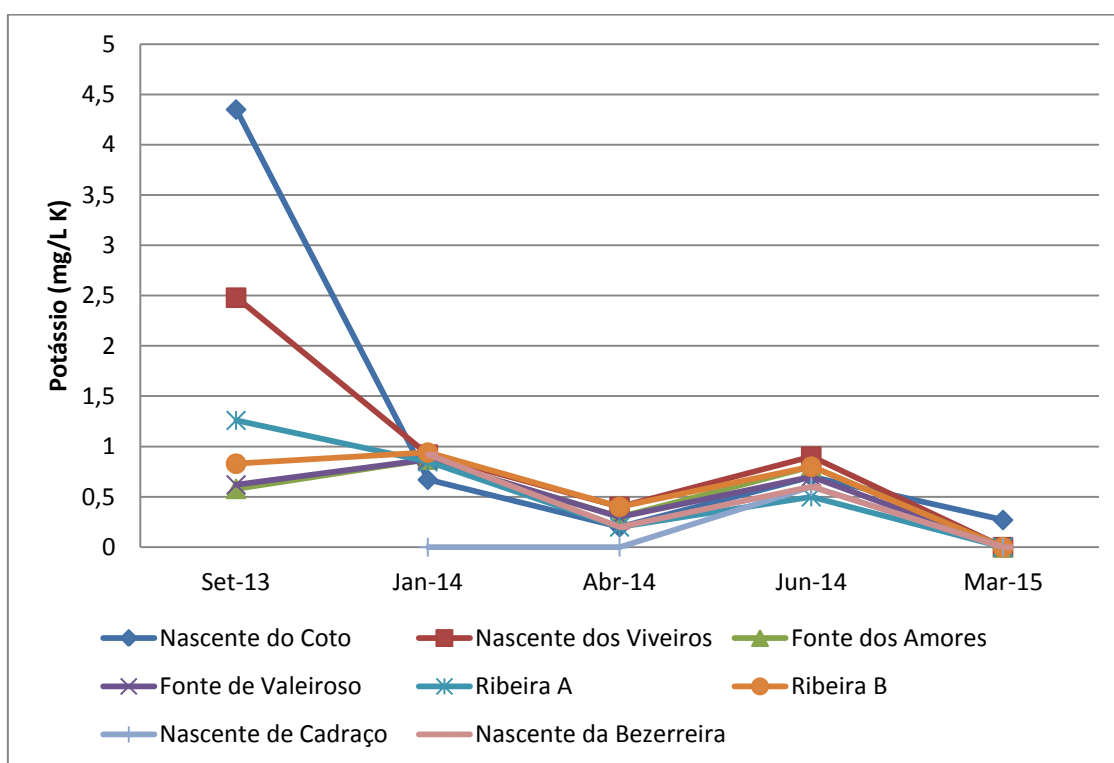


Figura 20: Variação temporal das concentrações de potássio nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

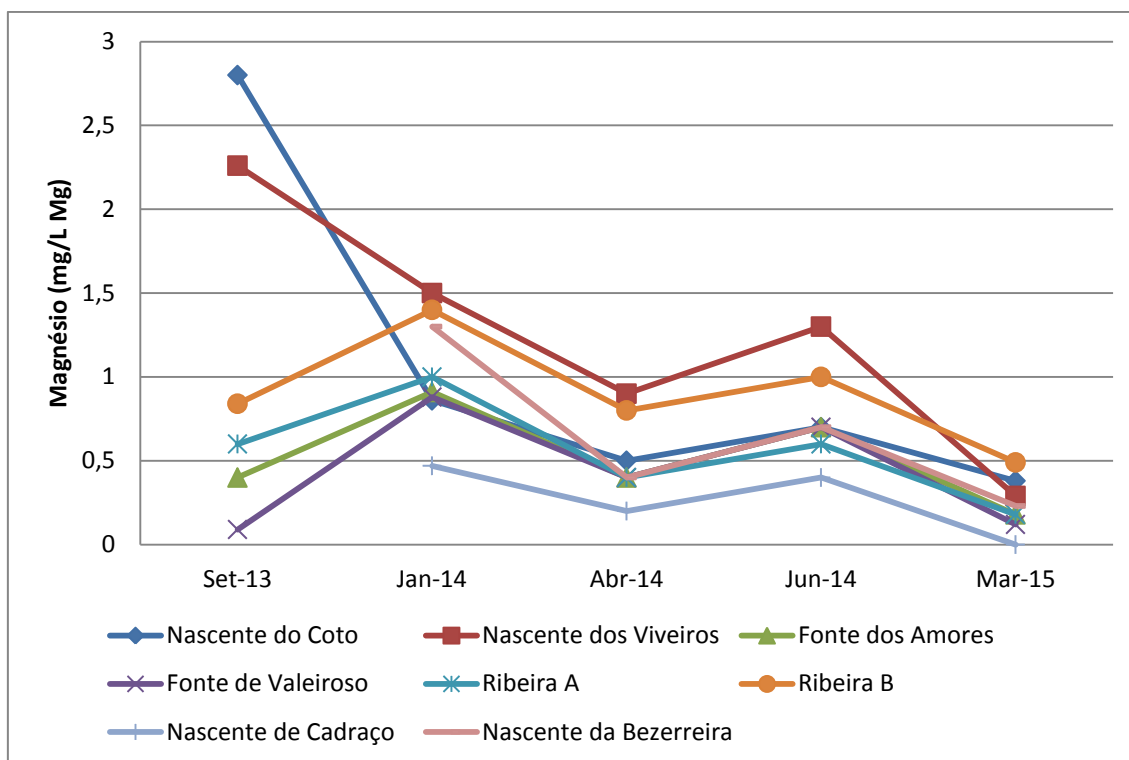


Figura 21: Variação temporal das concentrações de magnésio nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

Relativamente aos cátions Ca^{2+} , K^+ , Na^+ e Mg^{2+} pode-se constatar que a variação das suas concentrações é praticamente idêntica ao longo do estudo. Foi detetada a subida das concentrações nos meses de janeiro, no qual as precipitações de inverno causaram aumento dos caudais e a lixiviação destes cátions para as águas, e em junho, devido à menor disponibilidade de água nos aquíferos.

Em março, aproximadamente um ano após a amostragem anterior, dá-se um abaixamento das concentrações dos quatro cátions em praticamente todos os pontos, comparado com os valores iniciais do estudo. A descida mais significativa de sódio dá-se na Nascente dos Viveiros. O potássio é o único que desaparece praticamente em todos os pontos.

Na primeira amostragem, a Nascente do Coto e Nascente dos Viveiros destacam-se pelos valores bastante elevados em relação aos restantes pontos. Esta discrepância de valores pode ter ocorrido devido à sua localização numa zona de xisto, ao contrário dos restantes que se encontram em zonas graníticas. Ainda é importante referir que os valores de pH destes dois pontos são os mais baixos nesse mês, o que pode ter causado alterações na rocha, introduzindo mais cátions na água. Nas amostragens seguintes as concentrações de cátions destas duas nascentes passam a acompanhar os restantes pontos.

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

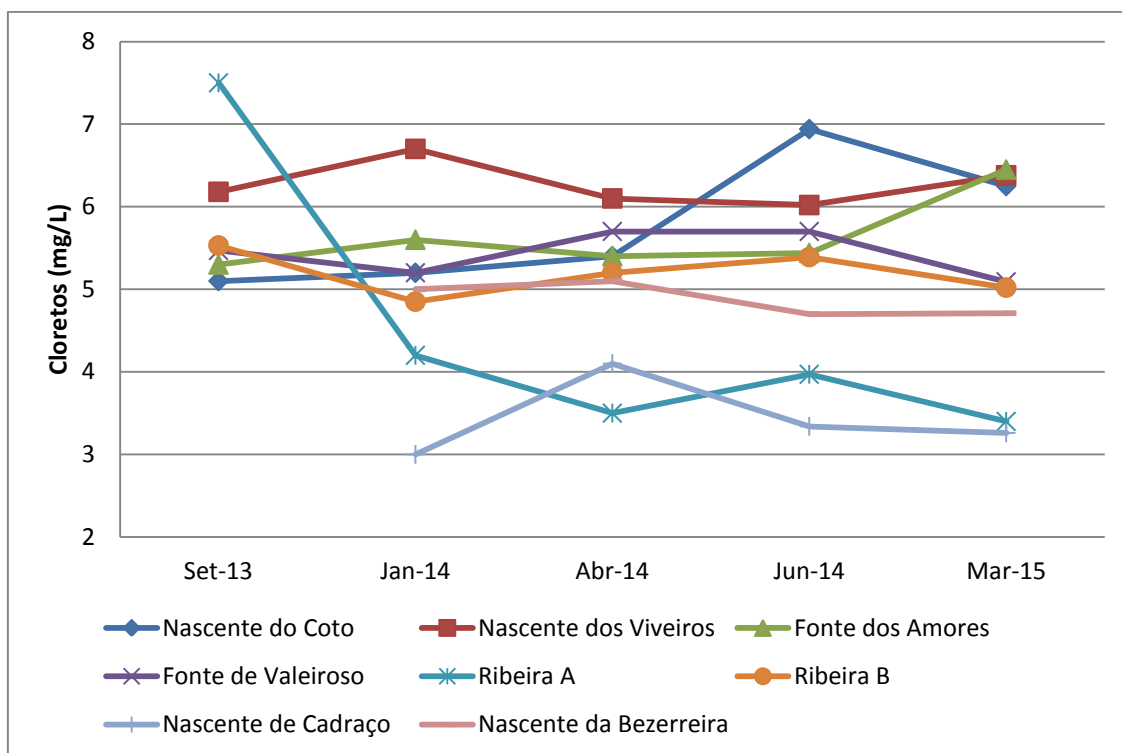


Figura 22: Variação temporal das concentrações de cloretos nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

As concentrações de cloretos apresentam pouca variação na maioria dos pontos de amostragem. Apenas na Ribeira A se observa uma concentração inicial superior aos restantes pontos (7,5 mg/l), ocorrendo uma descida significativa na amostragem de janeiro (4,2 mg/L). Nas amostragens seguintes o comportamento é praticamente constante. Este comportamento na Ribeira A sugere uma entrada conjunta de cloretos com o sódio, já que estes têm variações bastante semelhantes.

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

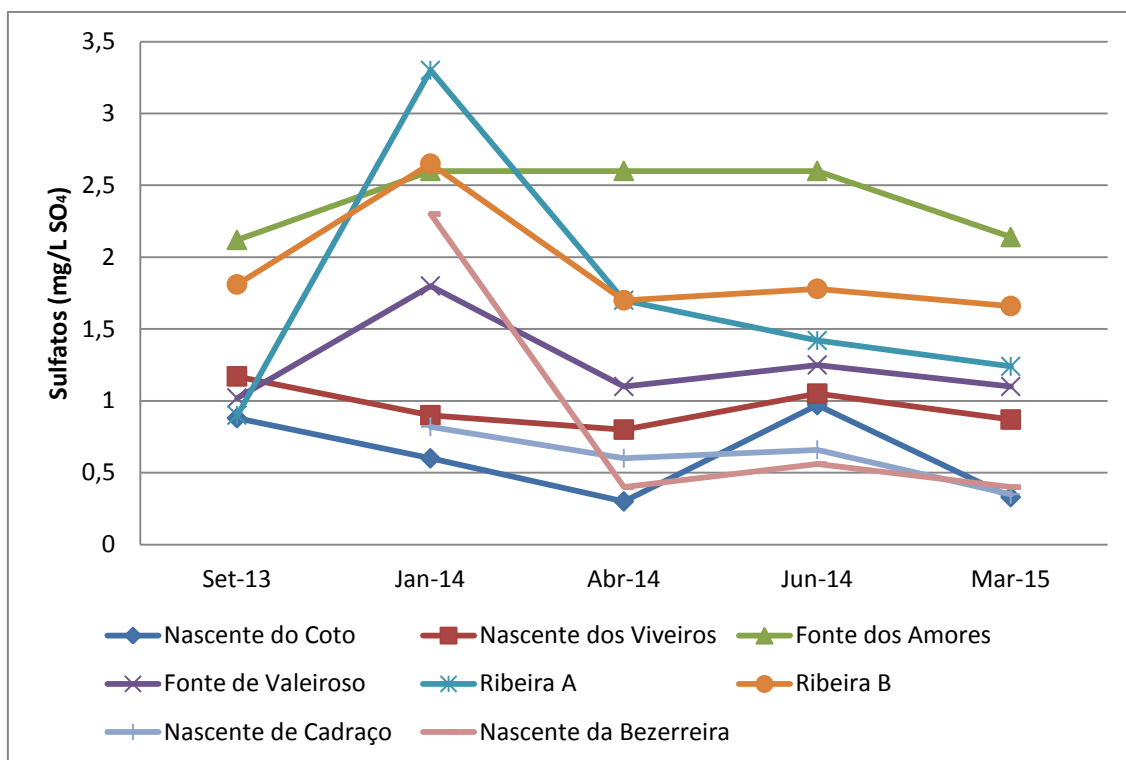


Figura 23: Variação temporal das concentrações de sulfatos nas campanhas de setembro de 2013 a março de 2015

No caso dos sulfatos, ocorre uma subida na maior parte dos pontos de amostragem em janeiro, podendo esta estar relacionados com as primeiras chuvas de inverno onde a ribeira A se destaca pela subida mais acentuada, com 3,3 mg/L.

Em abril as concentrações descem em praticamente todos os pontos, cujos valores pouco variam na amostragem de junho, à exceção da Nascente do Coto cujo valor de concentração subiu de 0,3 mg/L para 0,97 mg/L.

Em março as concentrações de sulfatos são praticamente aproximadas às concentrações do início do estudo.

A Fonte dos Amores foi o ponto que apresentou concentrações mais elevadas do conjunto, cujos valores se mantiveram praticamente constantes durante o estudo, com uma concentração média de 2,41 mg/L.

Nestes dois anos a ribeira A destaca-se pelo decréscimo considerável na concentração de cloretos em janeiro e, contrariamente, pela subida dos teores de sulfatos no mesmo mês. Isto pode querer dizer que os cloretos presentes na ribeira foram retirados por diluição durante as primeiras chuvas e foram introduzidos sulfatos pelo escoamento superficial.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a conclusão deste trabalho foi possível associar os fogos florestais à presença de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos em bacias hidrográficas de zonas áridas. Também foi possível apurar a influência das condições climáticas na sua concentração, obtendo os valores mais elevados no decorrer dos primeiros eventos de precipitação após o fogo florestal. Muitos desses valores ultrapassaram o limite estabelecido na legislação relativa às águas para consumo humano, com especial atenção ao BaP por ser considerado altamente cancerígeno para os humanos.

De acordo com os dados obtidos nas amostragens conclui-se que os HAPs estão a desaparecer do sistema aproximadamente dois anos após o fogo florestal que atingiu a Serra do Caramulo.

Foi ainda possível analisar a variação de iões maiores, constituintes comuns nas águas subterrâneas, concluindo que as suas concentrações também baixaram no final do estudo.

Este tipo de estudos permite identificar os poluentes prioritários que atingem as águas, que na sua grande maioria são usadas para consumo, avaliando os possíveis impactes causados tanto no ambiente como na saúde.

BIBLIOGRAFIA

Almeida, M. C. V. T., 2011. Avaliação do efeito de fogos florestais no regime de escoamento e na qualidade de massas de água doce superficiais. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1995. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=122&tid=25> (consultado em 14/7/2014)

ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2013. Priority List of Hazardous Substances, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta. <http://www.atsdr.cdc.gov/spl/> (consultado em 22/2/2015)

Baird, M., Zabowski, D. Everett, R.L., 1999. Wildfire effects on carbon and nitrogen in inland coniferous forests. *Plant and Soil*, 209, pp. 233-243

Baker, M. B., Jr., 1990. Hydrologic and water quality effects of fire. In: Krammes, J.S., (tech. coord.). Effects of fire management of southwestern natural resources. Gen.Tech. Rep. RM-191. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, pp. 31–42

Bakirci, M., 2010. Negative impacts of forest fires on ecological balance and environmental sustainability: Case of Turkey. *Revija za geografijo - Journal for Geography*

Batalla, R. 2001. Hydrological Implications of Forest Fires. Insitut de Medi Ambient. University of Girona. Spain

Bitner, K., Gallaher, B. E., Mullen, K., 2001. Review of Wildfire Effects on Chemical Water Quality. Los Alamos National Laboratory, LA-13826-MS, pp. 30

Boulet, Anne-Karine. 2011, Escoamento superficial nos eucaliptais da Serra do Caramulo, Universidade de Aveiro, Departamento de Biologia

Capela, J. P. F. A. M., 2008. Efeitos de incêndios sobre a qualidade da água em áreas florestais. Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento

CMV, Câmara Municipal de Vouzela, 2014. Parque Natural Vouga – Caramulo (Vouzela)

[http://www.cm-](http://www.cm-vouzela.pt/index.php?option=com_rokdownloads&view=folder&Itemid=310&id=1160:abertura-do-periodo-de-discussao-publica-parque-natural-local-vouga-caramulo-vouzela)

[vouzela.pt/index.php?option=com_rokdownloads&view=folder&Itemid=310&id=1160:abertura-do-periodo-de-discussao-publica-parque-natural-local-vouga-caramulo-vouzela](http://www.cm-vouzela.pt/index.php?option=com_rokdownloads&view=folder&Itemid=310&id=1160:abertura-do-periodo-de-discussao-publica-parque-natural-local-vouga-caramulo-vouzela)
(consultado em 4/2/2015)

Decreto-Lei n.º 103/2010, de 24 de Setembro. Diário da República n.º 187, 1.ª série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto. Diário da República n.º 164, 1.ª série. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 351/2007, de 23 de Outubro. Diário da República, N.º 204. 1.ª série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Directiva 2006/118/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 12 de Dezembro de 2006. Jornal Oficial da União Europeia. Luxemburgo

Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Boulet, A.K., Lopes, F.P., 2005. Temporal patterns of solute loss following wildfires in Central Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 14, 401-412.

Ferreira, C.M., 2008. Caracterização de Méis da Serra do Caramulo. Universidade de Aveiro, Departamento de Química

Ferreira, J.P.L., Oliveira, M.M., Laranjeira, I., Leitão, T.E., Quinta-Nova L., Fernandez, P., Lopes, M.H., Paralta, E.A., 2009. Avaliação do impacte de fogos florestais nos recursos hídricos subterrâneos. Relatório final de execução material, 565 pp. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I & D Hidráulica e Ambiente. Lisboa.

Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A. J., Lourenço, L., Úbeda, X., Vieira, A., 2013. Grandes Incêndios Florestais em Portugal Continental como Resultado das Perturbações nos Regimes de Fogo no Mundo Mediterrâneo, *Silva Lusitana* 21, Especial: 127 - 142.

Gill, D. D., 2004. The Impacts of Forest Fires on Drinking Water Quality. A Thesis Presented in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree Master of Science, Arizona State University

Harris, D. C., 1998. Quantitative Chemical Analysis. Fifth Edition. W. H. Freeman and Company. New York.

IARC, *International Agency for Research on Cancer*. Agents Classified by the *IARC Monographs*, Volumes 1–111. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/> (consultado em: 4/2/2014)

Ice, G., Neary, D., Adams, P., 2004. *Effects of wildfire on soils and watershed processes*. Journal of Forestry. Vol. 102, pp. 16-20.

ICNF, Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2013. Relatório dos grandes incêndios florestais na serra do Caramulo. Departamento de Conservação da Natureza e Florestas do Centro. <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/relat/raa/rel-tec/rel-caramul13> (consultado em 24/4/2015)

ICNF, Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2014. Relatório anual de áreas ardidas e incêndios florestais em Portugal Continental. Departamento de Gestão de Áreas Classificadas, Públicas e de Proteção Florestal <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/Resource/doc/rel/2013/rel-anual-13.pdf> (consultado em 7/7/2014)

Lee, B., Vu, V.T., 2010. Sources, Distribution and Toxicity of Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) in Particulate Matter, Air Pollution, Vanda Villanyi (Ed.), InTech

Lemière, B., Seguin, J. J., Guern, C., Guyonnet, D., Baranger, P., 2001. Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Applications dans un contexte d'Évaluation Détaillée des Risques pour les ressources en eau. Eau – Aménagement – Environnement, Documents du BRGM 300. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'Environnement. France.

Lemos, J.L.S, Oliveira, S.D., Barros, C.A, Schlittler, A.F.S., 2009, Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), propriedades e fatores que afetam sua degradação, Diálogos & Ciência- Revista da Rede de Ensino FTC, ano 7, No 20.

Lourenço, L., 1990. Impacte ambiental dos incêndios florestais. Comunicação apresentada na III Semana de Geografia Física, Coimbra, 2 a 5 de Abril de 1990, Cadernos de Geografia, Coimbra, 9, p. 143-150.

Maliszewska-Kordybach, B., 1999. Sources, Concentrations, Fate and Effects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Environment. Part A: PAHs in Air. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 8, No. 3, pp. 131-136.

Manzetti, S., 2013, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Environment: Environmental Fate and Transformation, Polycyclic Aromatic Compounds, Taylor & Francis, 33:4, 311-330

Martins, J.A. (1962). Contribuição para o conhecimento geológico da região do Caramulo. Mem. da Junta de Energia Nuclear, 35: 123-227.

Martins, S. D.R., 2010. Incêndios florestais: comportamento, segurança e extinção. Mestrado interdisciplinar em Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra.

Martins, Vera Mónica da Silva. 2007. Impacto dos Incêndios Florestais na Qualidade do Ar. Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento

Meneses, B., 2013. Os incêndios florestais e a qualidade da água. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa

Moreira, F., Catry, F.X., Silva, J.S., Rego, F. 2010. Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas, 327 pp. Lisboa, Isapress

Moreira, F., Vaz, P.J.G., Catry, F.X., Silva, J.S., 2009. Regional variations in wildfire susceptibility of land cover types in Portugal: implications for landscape management to minimize fire hazard. International Journal of Wildland Fire, 18, 563-574.

Neary, D. G., Kevin, C., DeBano, L. F., 2005. Wildland Fire in Ecosystems: effects of fire on soil and water. Gen Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 pp.

Olivella, M., Ribalta, T., de Febrer, A., Mollet, J., de las Heras, F., 2006, Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine waters after Mediterranean forest fires, Science of the Total Environment 355, pp. 156–166

Pereira, J. S., Pereira J. M. C., Rego, F. C., Silva, J. M. N., Silva, T. P., 2006. Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e Prevenção. Instituto Superior de Agronomia, ISAPress

- Pereira, J.S., 1988. A Serra do Caramulo – desintegração de um espaço rural. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Letras. Coimbra.
- Pies, C., Yang, Y., Hofmann, T., 2007, Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Floodplain Soils of the Mosel and Saar River. J Soils Sediments
- Pike, R. 2003. Forest hydrologic cycle basics. Streamline Watershed Management Bulletin, Vol. 7: 1-5
- Ranalli, A. J., 2004. A Summary of the Scientific Literature on the Effects of Fire on the Concentration of Nutrients in Surface Waters. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia
- Ribeiro, P. M. C. 2006. Caracterização da flora vascular e do padrão e dinâmica da paisagem na Serra do Caramulo. Análise do estado de conservação de *taxa* prioritários. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
- Roberts J.M., 2009, The role of forests in the hydrological cycle, Forests and forest plants– Vol. III, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)
- Rollin, C., Quiot, F., Denys, S., Bureau, J., 2005. Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques. Guide méthodologique. Acquisition des données d'entrée des modèles analytiques ou numériques de transferts dans les sols et les eaux souterraines. Rapport d'étude no 6644 – DESP – R01, Etude elaborée par le INERIS pour le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. France.
- Settle, F.A., 1997. Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry. Prentice Hall, New Jersey
- Shakesby, R., Doerr, S., 2006. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. Earth-Science Reviews. Vol. 74: 269-307.
- Silva, Á., Cunha, S., Coelho, F., Nunes, L., Pires, V., Mendes, L., Cota, T., Belo, M., Neto, J., Mendes, M., 2010. Atlas Climatológico de Portugal Continental 1971-2000: Cartografia da temperatura do ar e da precipitação.
- Silva, V. A. F. G., 2012. Contaminação por escorrências de incêndios: efeitos da biofiltração. Universidade de Aveiro, Departamento de Biologia

Skupińska, K., Misiewicz, I., Kasprzycka-Guttman, T., 2004, Polycyclic aromatic hydrocarbons: physicochemical properties, environmental appearance and impact on living organisms. *Acta Poloniae Pharmaceutica- Drug Research*, Vol. 61, No. 3, pp. 233-240

Thomas, A. D., Walsh, R. P. D., Shakesby, R. A., 2000. Solutes in overland flow following fire in eucalyptus and pine forests, northern Portugal. *Hydrological Processes* 14, 971-985.

USEPA, 1984. Health Effects Assessment for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/540/1-86/013 (NTIS PB86134244)

Vela, N., Martínez-Menchón, M., Navarro, G., Pérez-Lucas, G., Navarro, S., 2012. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from groundwater by heterogeneous photocatalysis under natural sunlight. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 232: 32– 40

Viegas, D. X, Ribeiro, L.M., Almeida, M. A., Oliveira, R., Viegas, M. T. P., Raposo, I. R., Reva, V., Figueiredo, A. R, Lopes, S., 2013. Os grandes incêndios florestais e acidentes mortais ocorridos em 2013. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais, ASAI/LAETA, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra

Vila-Escalé, M., Vegas-Vilarrúbia, T., Prat, N., 2007. Release of polycyclic aromatic compounds into a Mediterranean creek (Catalonia, NE Spain) after a forest fire. *Water Research*, 41, pp. 2171 – 2179

Wcisło, E., 1998, Soil Contamination with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Poland – a Review. *Polish Journal of Environmental Studies* Vol. 7, No. 5, pp. 267-272


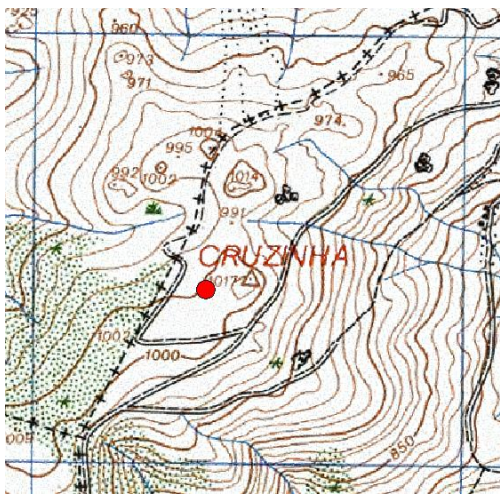
Wick, A. Haus, N. Sukkariyah, B. Haering K. Daniels, W, 2011, Remediation of PAH-Contaminated Soils and Sediments: A Literature Review. Virginia Polytechnic Institute and State University Department of Crop and Soil Environmental Sciences

ANEXO I - INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO

INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO

Data: --/--/201-

Hora:--


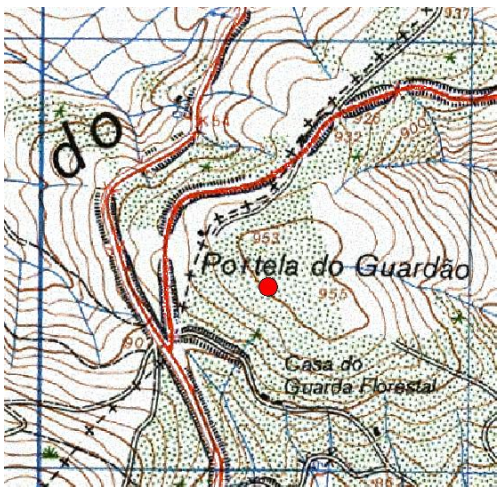
Ficha nº 1	Designação: Nascente do Coto	Tipo: Nascente
Cota: 969 m	Carta topográfica: 187 (Tondela) Escala: 1/25 000	Litologia da Bacia hidrogeológica: xisto
Coordenadas: N 40°36'10,0" W 8°9'23,0"	Carta geológica: 16B Escala: 1/50 000	Ocupação do solo da bacia: floresta de folhosas e resinosas
Tipo de nascente: ✓ Permanente Temporária	Condições de acesso: acessível durante todo o estudo	
	Observações:	
Emergência através de: Tubo Rocha Solo Zona alagada	Geomorfologia: ✓ Planalto Encosta Vale	Utilização: Consumo humano Rega Pecuária
Características e propriedades da água		
Cheiro: inodora	Cor: incolor	Turbidez: água límpida
Parâmetros físico-químicos da água (*)		
Temperatura: 11,76 °C	Condutividade: 34,2 µS/cm	pH: 5,21
Documento fotográfico		Localização
		

(*) valores médios para todo o período de estudo

INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO

Data: --/--/201-

Hora:--


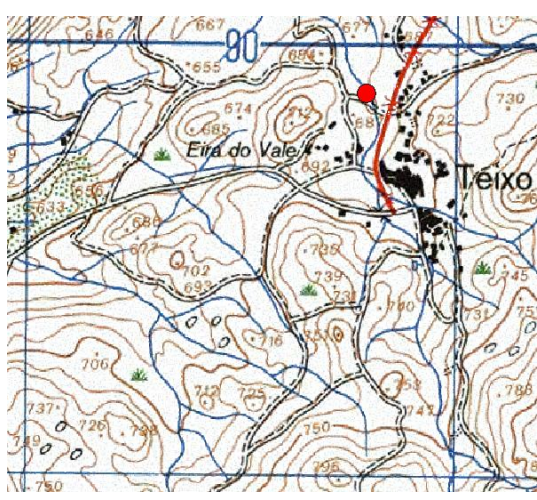
Ficha nº 2	Designação: Nascente dos Viveiros	Tipo: Nascente
Cota: 941 m	Carta topográfica: 187 (Tondela) Escala: 1/25 000	Litologia da Bacia hidrogeológica: xisto
Coordenadas: N 40°35'6,8" W 8°10'1,2"	Carta geológica: 16B Escala: 1/50 000	Ocupação do solo da bacia: floresta de folhosas e resinosas
Tipo de nascente: ✓ Permanente Temporária	Condições de acesso: acessível durante todo o estudo	
	Observações:	
Emergência através de: ✓ Tubo Rocha Solo Zona alagada	Geomorfologia: Planalto ✓ Encosta Vale	Utilização: ✓ Consumo humano Rega Pecuária
Características e propriedades da água		
Cheiro: inodora	Cor: incolor	Turbidez: água límpida
Parâmetros físico-químicos da água (*)		
Temperatura: 12,56 °C	Condutividade: 43,6 µS/cm	pH: 5,61
Documento fotográfico		Localização
		

(*) valores médios para todo o período de estudo

INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO

Data: --/--/201-

Hora:--

Ficha nº 3	Designação: Fonte dos Amores	Tipo: Nascente
Cota: 680 m	Carta topográfica: 198 (Tondela) Escala: 1/25 000	Litologia da Bacia hidrogeológica: granito
Coordenadas: N 40°33'13,4" W 8°14'6,6"	Carta geológica: 16D Escala: 1/50 000	Ocupação do solo da bacia: habitações
Tipo de nascente: ✓ Permanente Temporária	Condições de acesso: acessível durante todo o estudo	
	Observações:	
Emergência através de: ✓ Tubo Rocha Solo Zona alagada	Geomorfologia: Planalto ✓ Encosta Vale	Utilização: ✓ Consumo humano ✓ Rega ✓ Pecuária
Características e propriedades da água		
Cheiro: inodora	Cor: incolor	Turbidez: água límpida
Parâmetros físico-químicos da água (*)		
Temperatura: 16,38 °C	Condutividade: 34,8 µS/cm	pH: 5,67
Documento fotográfico		Localização
		

(*) valores médios para todo o período de estudo

INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO

Data: --/--/201-

Hora:--


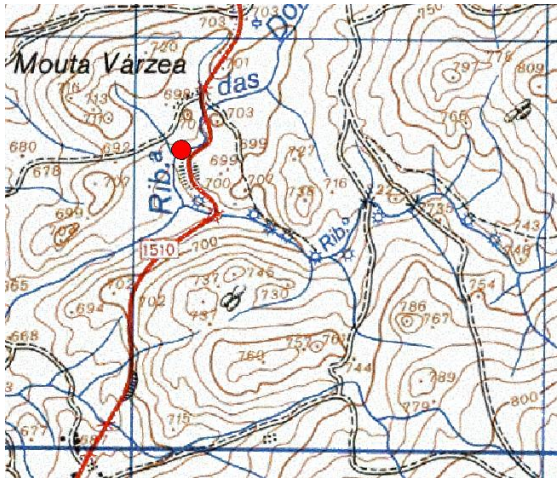
Ficha nº 4	Designação: Fonte de Valeiroso	Tipo: Nascente
Cota: 716 m	Carta topográfica: 187 (Tondela) Escala: 1/25 000	Litologia da Bacia hidrogeológica: granito
Coordenadas: N 40°34'27,4" W 8°14'7,8"	Carta geológica: 16B Escala: 1/50 000	Ocupação do solo da bacia: habitações
Tipo de nascente: ✓ Permanente Temporária	Condições de acesso: acessível durante todo o estudo	
	Observações:	
Emergência através de: ✓ Tubo Rocha Solo Zona alagada	Geomorfologia: ✓ Planalto Encosta Vale	Utilização: ✓ Consumo humano ✓ Rega Pecuária
Características e propriedades da água		
Cheiro: inodora	Cor: incolor	Turbidez: água límpida
Parâmetros físico-químicos da água (*)		
Temperatura: 16,16 °C	Condutividade: 29 µS/cm	pH: 6,1
Documento fotográfico		Localização
		

(*) valores médios para todo o período de estudo

INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO

Data: --/--/201-

Hora:--

Ficha nº 5	Designação: Ribeira A	Tipo:
Cota: 674 m	Carta topográfica: 198 (Tondela) Escala: 1/25 000	Litologia da Bacia hidrogeológica: granito
Coordenadas: N 40°33'40,7" W 8°13'52,4"	Carta geológica: 16B Escala: 1/50 000	Ocupação do solo da bacia: floresta de folhosas e resinosas
Tipo de nascente: ✓ Permanente Temporária	Condições de acesso: acessível durante todo o estudo	
	Observações:	
Emergência através de: Tubo Rocha Solo Zona alagada	Geomorfologia: Planalto Encosta ✓ Vale	Utilização: Consumo humano ✓ Rega ✓ Pecuária
Características e propriedades da água		
Cheiro: inodora	Cor: incolor	Turbidez: água límpida
Parâmetros físico-químicos da água (*)		
Temperatura: 13,88 °C	Condutividade: 25,2 µS/cm	pH: 6,68
Documento fotográfico	Localização	
		

(*) valores médios para todo o período de estudo

INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO

Data: --/--/201-

Hora:--

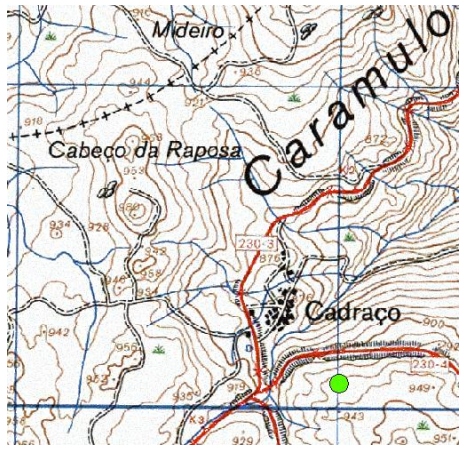
Ficha nº 6	Designação: Ribeira B	Tipo:
Cota: 339 m	Carta topográfica: 188 (Viseu) Escala: 1/25 000	Litologia da Bacia hidrogeológica: granito
Coordenadas: N 40°35'17,4" W 8°7'25,2"	Carta geológica: 17A Escala: 1/50 000	Ocupação do solo da bacia: floresta de folhosas e resinosas
Tipo de nascente: ✓ Permanente Temporária	Condições de acesso: acessível durante todo o estudo	
	Observações:	
Emergência através de: Tubo Rocha Solo Zona alagada	Geomorfologia: Planalto Encosta ✓ Vale	Utilização: Consumo humano ✓ Rega ✓ Pecuária
Características e propriedades da água		
Cheiro: inodora	Cor: incolor	Turbidez: água límpida
Parâmetros físico-químicos da água (*)		
Temperatura: 14,76 °C	Condutividade: 24,8 µS/cm	pH: 6,67
Documento fotográfico	Localização	
		

(*) valores médios para todo o período de estudo

INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO

Data: --/--/201-

Hora:--

Ficha nº 7	Designação: Nascente de Cadraço	Tipo: Nascente
Cota: 934 m	Carta topográfica: 198 (Tondela) Escala: 1/25 000	Litologia da Bacia hidrogeológica: granito
Coordenadas: N 40°33'17,39" W 8°11'8,46"	Carta geológica: 16D Escala: 1/50 000	Ocupação do solo da bacia: floresta de folhosas e resinosas, habitações
Tipo de nascente: ✓ Permanente Temporária	Condições de acesso: acessível durante todo o estudo	
	Observações:	
Emergência através de: ✓ Tubo Rocha Solo Zona alagada	Geomorfologia: Planalto ✓ Encosta Vale	Utilização: ✓ Consumo humano ✓ Rega Pecuária
Características e propriedades da água		
Cheiro: inodora	Cor: incolor	Turbidez: água límpida
Parâmetros físico-químicos da água (*)		
Temperatura: 10,88 °C	Condutividade: 32,5 µS/cm	pH: 5,33
Documento fotográfico		Localização
		

(*) valores médios para todo o período de estudo

INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO

Data: --/--/201-

Hora:--

Ficha nº 8	Designação: Nascente da Bezerreira	Tipo: Nascente
Cota: 928 m	Carta topográfica: 187 (Tondela) Escala: 1/25 000	Litologia da Bacia hidrogeológica: granito
Coordenadas N 40°34'05,7" W 8°11'27,1"	Carta geológica: 16B Escala: 1/50 000	Ocupação do solo da bacia: floresta de folhosas e resinosas
Tipo de nascente: ✓ Permanente Temporária	Condições de acesso: acessível durante todo o estudo	
	Observações	
Emergência através de: ✓ Tubo Rocha Solo Zona alagada	Geomorfologia: Planalto ✓ Encosta Vale	Utilização: ✓ Consumo humano ✓ Rega ✓ Pecuária
Características e propriedades da água		
Cheiro: inodora	Cor: incolor	Turbidez: água límpida
Parâmetros físico-químicos da água (*)		
Temperatura: 10,85 °C	Condutividade: 35,5 µS/cm	pH: 5,88
Documento fotográfico		Localização
		

(*) valores médios para todo o período de estudo

ANEXO II - VALORES DE TODOS OS PARÂMETROS EM CADA AMOSTRAGEM

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

Ponto de amostragem	Datas	Parâmetros analisados									
		T (°C)	pH	Cond. elétrica (µS/cm)	HAPs (ng/L)	Na ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
Nascente do coto	Set 2013	13,1	5,01	28	30,1	50,16	8,66	4,35	2,8	5,1	0,88
	Jan 2014	11,7	4,94	35	78,6	3,7	0,92	0,67	0,86	5,2	0,6
	Abr 2014	10,9	5,40	31	20,4	3,5	0,7	0,2	0,5	5,4	0,3
	Jun 2014	11,6	5,56	44	8,6	4,3	0,9	0,7	0,7	6,94	0,97
	Mar 2015	11,5	5,15	33	3,9	3,99	0,85	0,27	0,38	6,25	0,33
	Média	11,76	5,21	34,2	28,32	13,13	2,41	1,24	1,05	5,78	0,62
Nascente dos Viveiros	Set 2013	15,2	5,42	39	29,2	27,75	5,23	2,48	2,26	6,18	1,17
	Jan 2014	11,3	5,42	43	138,2	4,5	1,4	0,92	1,5	6,7	0,9
	Abr 2014	11,3	6,00	34	13,5	3,9	1	0,4	0,9	6,1	0,8
	Jun 2014	15,5	5,86	71	7,4	4,3	1,3	0,9	1,3	6,02	1,05
	Mar 2015	9,5	5,35	31	3,8	1,85	0,55	0	0,29	6,38	0,87
	Média	12,56	5,61	43,6	38,42	8,46	1,90	0,94	1,25	6,28	0,96
Fonte dos Amores	Set 2013	22,7	5,44	37	28,9	4,55	1,29	0,58	0,4	5,3	2,12
	Jan 2014	9,7	5,20	34	41,8	4	1,8	0,87	0,91	5,6	2,6
	Abr 2014	14,4	5,80	34	16,5	3,4	1,2	0,3	0,4	5,4	2,6
	Jun 2014	23,5	5,60	36	14,2	4,1	1,2	0,8	0,7	5,44	2,6
	Mar 2015	11,6	6,32	33	1,4	4,27	1,04	0	0,18	6,45	2,14
	Média	16,38	5,67	34,8	20,56	4,064	1,31	0,51	0,518	5,64	2,41
Fonte de Valeiroso	Set 2013	28,3	6,34	43	10,4	6,29	2,26	0,62	0,09	5,47	1,02
	Jan 2014	10,0	5,80	31	47,1	3,9	1,3	0,87	0,88	5,2	1,8
	Abr 2014	13,0	5,80	30	19,9	3,7	0,8	0,3	0,4	5,7	1,1
	Jun 2014	18,7	5,86	21	9	4,5	1	0,7	0,7	5,7	1,25
	Mar 2015	10,8	6,68	20	9,7	3,45	0,7	0	0,12	5,09	1,1
	Média	16,16	6,1	29	19,22	4,37	1,21	0,50	0,44	5,43	1,25
Ribeira A	Set 2013	22,6	6,06	42	8,9	5,02	1,41	1,26	0,6	7,5	0,9
	Jan 2014	8,5	6,38	27	48,4	3,3	1,8	0,85	1	4,2	3,3
	Abr 2014	11,6	7,30	22	22,6	2,6	1,1	0,2	0,4	3,5	1,7
	Jun 2014	17,4	6,71	14	17,8	3,4	0,9	0,5	0,6	3,97	1,42
	Mar 2015	9,3	6,94	21	2,4	2,86	0,93	0	0,18	3,4	1,24
	Média	13,88	6,68	25,2	20,20	3,44	1,23	0,56	0,56	4,51	1,71
Ribeira B	Set 2013	18,4	6,29	33	12,8	6,14	1,02	0,83	0,84	5,53	1,81
	Jan 2014	11,8	6,46	15	42	3,9	1,4	0,94	1,4	4,85	2,65
	Abr 2014	14,0	6,80	32	21,2	3,7	1	0,4	0,8	5,2	1,7
	Jun 2014	17,9	6,95	24	18,1	4,4	0,9	0,8	1	5,39	1,78
	Mar 2015	11,7	6,83	20	18,9	3,9	0,83	0	0,49	5,02	1,66
	Média	14,76	6,67	24,8	22,6	4,41	1,03	0,59	0,91	5,2	1,92
Nascente de Cadraço	Set 2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jan 2014	10,7	4,91	28	34,4	2,34	0,55	0	0,47	3	0,82
	Abr 2014	11,0	5,20	21	21	2,6	0,5	0	0,2	4,1	0,6
	Jun 2014	13,8	5,39	68	14,1	3,1	0,5	0,6	0,4	3,34	0,66
	Mar 2015	8	5,81	13	1,6	2,31	0,27	0	0	3,26	0,35
	Média	10,88	5,33	32,5	17,78	2,59	0,46	0,15	0,27	3,43	0,61
Nascente da Bezerreira	Set 2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jan 2014	10,8	5,32	49	113,4	4,7	2	0,92	1,3	5	2,3
	Abr 2014	10,4	5,80	31	25,8	4,2	1,08	0,2	0,4	5,1	0,4
	Jun 2014	12,1	5,95	21	12,6	4,62	0,9	0,6	0,7	4,7	0,56
	Mar 2015	10,1	6,44	41	4,1	4,13	1,03	0	0,23	4,71	0,4
	Média	10,85	5,88	35,5	38,98	1,25	4,41	0,43	0,66	4,88	0,92

ANEXO III - VALORES INDIVIDUAIS DE HAPs

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

Hidrocarboneto (ng/L)	Abrev.	Nº anéis	20 de setembro 2013					
			Nascente do Coto	Nascente dos Viveiros	Fonte dos Amores	Fonte de Valeiros	Ribeira A	Ribeira B
Naftaleno	Naf	2	11	15,4	12,4	10,4	6,8	12,8
Acenaftileno	Aci	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Acenafteno	Ace	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fluoreno	Fl	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Antraceno	Ant	3	1,7	0,6	6,3	<LOD	2,1	<LOD
Fenantreno	Fen	3	nd	nd	2,5	nd	nd	nd
Fluoranteno	Ft	4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Pireno	Pir	4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Benzo(a)antraceno	BaA	4	nd	5	5,1	nd	nd	nd
Criseno	Cri	4	nd	nd	nd	<LOD	nd	nd
Benzo(b)fluoranteno	BbF	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(k)fluoranteno	BkF	5	2,6	nd	2,6	nd	nd	nd
Benzo(a)pireno	BaP	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Indeno(1,2,3-cd)pireno	Ind	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Dibenzo(a,h)antraceno	DahA	6	8,6	8,1	nd	nd	nd	nd
Benzo(ghi)perileno	BghiP	6	6,2	nd	nd	nd	nd	nd
Somatório			30,1	29,2	28,9	10,4	8,9	12,8

nd - não detetado; LOD - limite de deteção; LOQ - limite de quantificação

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

Hidrocarboneto (ng/L)	Abrev.	Nº anéis	10 de janeiro 2014							
			Nascente do Coto	Nascente dos Viveiros	Fonte dos Amores	Fonte de Valeiroso	Ribeira A	Ribeira B	Nascente de Cadraço	Nascente da Bezerreira
Naftaleno	Naf	2	9,7	14,1	16,4	11,9	18,8	25,2	16,1	21,7
Acenaftileno	Aci	3	<LOD	nd	nd	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Acenafteno	Ace	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,4	1,7
Fluoreno	Fl	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Antraceno	Ant	3	<LOD	0,6	2,9	<LOD	5,1	2,8	<LOD	7,5
Fenantreno	Fen	3	5,3	5,3	nd	nd	5,3	5,2	nd	5,4
Fluoranteno	Ft	4	4,6	3,2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3,4
Pireno	Pir	4	3,7	6,1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	5,6
Benzo(a)antraceno	BaA	4	8,8	7,9	nd	3,5	nd	nd	nd	8
Criseno	Cri	4	6,8	9	0,4	0,8	0,5	nd	0,7	8,1
Benzo(b)fluoranteno	BbF	5	10,3	14,4	4,8	6	nd	nd	nd	10,4
Benzo(k)fluoranteno	BkF	5	2,8	8,5	2,4	3,1	2,5	2,2	2,4	6,3
Benzo(a)pireno	BaP	5	6,2	11,3	nd	4,8	nd	nd	nd	9,6
Indeno(1,2,3-cd)pireno	Ind	5	11	16	7,2	7,9	7,6	nd	6,9	11,2
Dibenzo(a,h)antraceno	DahA	6	nd	14,5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(ghi)perileno	BghiP	6	9,4	27,3	7,6	9,1	8,6	6,5	7	14,5
Somatório			78,6	138,2	41,8	47,1	48,4	42	34,4	113,4

nd - não detetado; LOD - limite de deteção; LOQ - limite de quantificação

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

Hidrocarboneto (ng/L)	Abrev.	Nº anéis	23 de abril 2014							
			Nascente do Coto	Nascente dos Viveiros	Fonte dos Amores	Fonte de Valeiroso	Ribeira A	Ribeira B	Nascente de Cadraço	Nascente da Bezerreira
Naftaleno	Naf	2	18	13,5	14	17,3	19,9	16,4	14,3	16,6
Acenaftileno	Aci	3	nd	nd	nd	nd	<LOD	nd	<LOD	nd
Acenafteno	Ace	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fluoreno	Fl	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Antraceno	Ant	3	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Fenantreno	Fen	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fluoranteno	Ft	4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	nd	<LOD	nd
Pireno	Pir	4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	nd	nd
Benzo(a)antraceno	BaA	4	nd	nd	nd	2,6	nd	2,6	nd	nd
Criseno	Cri	4	nd	nd	nd	nd	nd	<LOD	nd	nd
Benzo(b)fluoranteno	BbF	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(k)fluoranteno	BkF	5	2,4	nd	2,6	nd	2,6	2,2	nd	2,5
Benzo(a)pireno	BaP	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Indeno(1,2,3-cd)pireno	Ind	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6,6
Dibenzo(a,h)antraceno	DahA	6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(ghi)perileno	BghiP	6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6,7	nd
Somatório			20,4	13,5	16,5	19,9	22,6	21,2	21	25,8

nd - não detetado; LOD - limite de deteção; LOQ - limite de quantificação

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

Hidrocarboneto (ng/L)	Abrev.	Nº anéis	27 de junho 2014							
			Nascente do Coto	Nascente dos Viveiros	Fonte dos Amores	Fonte de Valeiros	Ribeira A	Ribeira B	Nascente de Cadraço	Nascente da Bezerreira
Naftaleno	Naf	2	6,6	7,4	7,8	9	10,4	12,9	5,4	10
Acenaftileno	Aci	3	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Acenafteno	Ace	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fluoreno	Fl	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Antraceno	Ant	3	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Fenantreno	Fen	3	nd	nd	nd	nd	5,3	5,3	nd	nd
Fluoranteno	Ft	4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	nd	<LOD
Pireno	Pir	4	<LOD	<LOD	nd	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	nd
Benzo(a)antraceno	BaA	4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,5	2,6
Criseno	Cri	4	nd	nd	nd	<LOD	<LOD	nd	<LOD	nd
Benzo(b)fluoranteno	BbF	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(k)fluoranteno	BkF	5	2,1	nd	nd	nd	2,1	nd	nd	nd
Benzo(a)pireno	BaP	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Indeno(1,2,3-cd)pireno	Ind	5	nd	nd	6,4	nd	nd	nd	nd	nd
Dibenzo(a,h)antraceno	DahA	6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo(ghi)perileno	BghiP	6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6,2	nd
Somatório			8,6	7,4	14,2	9	17,8	18,1	14,1	12,6

nd - não detetado; LOD - limite de deteção; LOQ - limite de quantificação

Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo

Hidrocarboneto (ng/L)	Abrev.	Nº anéis	23 março de 2015							
			Nascente do Coto	Nascente dos Viveiros	Fonte dos Amores	Fonte de Valeiroso	Ribeira A	Ribeira B	Nascente de Cadraço	Nascente da Bezerreira
Naftaleno	Naf	2	nd	7,2	7,1	9,5	9,6	nd	nd	nd
Acenaftileno	Aci	3	nd	nd	<LOD	<LOD	<LOD	nd	nd	<LOD
Acenafteno	Ace	3	nd	nd	nd	nd	nd	<LOD	nd	nd
Fluoreno	Fl	3	<LOD	<LOD	nd	nd	nd	<LOD	<LOD	<LOD
Antraceno	Ant	3	<LOD	<LOD	<LOD	7,3	<LOD	<LOD	1,3	<LOD
Fenantreno	Fen	3	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	nd	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Fluoranteno	Ft	4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Pireno	Pir	4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Benzo(a)antraceno	BaA	4	2,7	2,6	nd	2,6	2,6	nd	nd	2,5
Criseno	Cri	4	<LOD	<LOD	nd	<LOD	<LOD	nd	nd	nd
Benzo(b)fluoranteno	BbF	5	nd	nd	nd	nd	nd	4,5	nd	nd
Benzo(k)fluoranteno	BkF	5	nd	nd	nd	nd	nd	2,3	nd	nd
Benzo(a)pireno	BaP	5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,4	nd
Indeno(1,2,3-cd)pireno	Ind	5	nd	nd	nd	6,4	nd	7,0	nd	nd
Dibenzo(a,h)antraceno	DahA	6	nd	nd	nd	nd	nd	5,6	nd	nd
Benzo(ghi)perileno	BghiP	6	6,0	nd	nd	nd	6,1	6,7	nd	nd
Somatório			8,7	9,8	7,1	25,8	18,3	26,0	4,6	1,9

nd -não detetado; LOD - limite de deteção; LOQ - limite de quantificação

